Ю. ФИЛАКОВ

Девятый знак

ДЕТГИЗ 1962

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Сборник очерков, посвящённых важнейшим проблемам современной химии. Для старшего школьного возраста.

Данная книга является переработанным и дополненным вариантом книги «Оповідання з хімії» того же автора, вышедшей в 1960 году в издательстве «Радянська школа» на украинском языке.

- Юрий Яковлевич Фиалков
-
- ПЕРВЫЕ СТУПЕНЬКИ
  - Жертвы точности
  - Весы создают химию
  - Весы? нет, лучше…
  - Детективная история
  - Периодическая система в… куске мела
- АЛХИМИЯ XX ВЕКА
  - Бискайская история
  - Четыре вопросительных
  - Луч света
  - Химики снимают вопросительные знаки
  - 92? А почему бы не больше?
  - Манипуляторы с невидимым
  - Новое семейство
  - В лабораториях природы
  - Есть ли предел числу элементов
- БОЛЬШОЕ В МАЛОМ
  - Что общего?
  - Чистое вещество… это не просто
  - Проблемы возникают так…
  - Постоянны ли постоянные величины?
  - Вопросы, вопросы…
  - Спустя несколько лет…
  - Еще несколько ступенек
  - Почему вода?
  - Иголка в копне сена
  - Новая химия
  - Мал золотник…
  - Мир бесконечно малых
  - Большие дела малых примесей
- НА ПРОСТОРАХ ХИМИЧЕСКОЙ АНТАРКТИДЫ

- Карта химии
- Дом — Периодическая система
- Срытый двор
- Легчайший
- Металл драгоценностей
- Пятнадцать близнецов
- Миллиардная доля земной коры
- Основа века атома

-
- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7

Юрий Яковлевич Фиалков
Девятый знак

Памяти брата

Есть горные пики, которые не найдешь на географических картах. Но тем не менее борьба за их покорение идет ежедневно, ежечасно. Борьба упорная, полная драматизма и неожиданностей. Это — вершины науки.

Пусть над участниками восхождений на эти вершины не воют злые ветры, пусть не грозят им горные обвалы, но все же история покорения этих «пиков науки» — подвиг ничуть не меньший, чем взятие Эвереста.

В этой книге будет рассказано о подъеме на одну из вершин современной химии — вершину сверхмалых количеств веществ. Восхождение это было трудным и рискованным. Химикам приходилось карабкаться по крутым ступенькам десятичных знаков, выбивая их в твердом граните неизвестности.

Одна миллиардная доля грамма… Может ли быть полезной эта крупинка вещества, которую не разглядеть даже в самый сильный микроскоп? Оказывается, современная химия свободно оперирует такими ничтожными количествами различных веществ. И ученые не только научились взвешивать одну миллиардную долю грамма, но и определяют свойства веществ, получаемых в таких количествах. За спиной открывателей висел тяжелый груз устаревших теорий, а вершина горы — разгадка проблемы — терялась в густых облаках противоречий.

Самые разнообразные явления и события столкнутся здесь, потому что история погони за исчезающе малыми количествами вещества затрагивает многие проблемы и отрасли науки. Именно «охотникам» за сверхмалым и невидимым обязаны своим успехом такие далекие друг от друга области химии, как синтез искусственных элементов, изучение сверхчистых веществ, приготовление полупроводниковых материалов, выделение и использование редких и сверхредких металлов — все то, о чем будет рассказано в этой книге.

ПЕРВЫЕ СТУПЕНЬКИ

Жертвы точности

Пусть читатель судит сам — грустная это история или веселая. Мне представляется, что это в общем не так уж важно. Важно другое — то, что все это произошло в действительности. Место действия — Германия. Время — 20-е годы XX столетия.

Если кто-либо пожелает восстановить эту историю во всех подробностях, то автор должен предупредить его — не надо ориентироваться на газетные сообщения. Немецкие реакционные газеты, верные своим обычаям, умалчивали о существенном, неимоверно раздувая мелкие подробности.

Все началось с июльского вечера 1924 года, когда профессор Литте докладывал своим коллегам по институту о результатах работы возглавляемой им группы. Научный семинар института собирался регулярно каждые две недели вот уже тридцать лет, и уважаемые профессора твердо знали, что за все тридцать лет на этих семинарах не было сообщено ничего такого, ради чего стоило бы пересилить обычную дремоту, которая царила в аудитории. Кроме того, было жарко. Очень жарко. Как заявил с тяжеловатым юмором председатель после окончания доклада, содовая со льдом воспринималась гораздо легче, чем несомненно интересное сообщение герра профессора. Говоря, что сообщение было «интересным», председатель явно кривил душой, так как во время доклада он спал, прикрывшись газетой. Остальные слушатели были внимательны не в большей степени.

Многие из них впоследствии жестоко пожалели об этом, потому что именно в тот вечер профессор Литте впервые сообщил о том, что им обнаружен эффект превращения ртути в золото.

В течение ряда лет Литте работал с ртутно-кварцевой лампой. И вот несколько месяцев назад он обнаружил, что ртуть в этих лампах содержит значительное — относительно, конечно, — количество золота. Поскольку ртуть является ближайшим соседом золота по Периодической системе, то Литте сделал вывод, что здесь наблюдается эффект превращения неблагородного металла в драгоценное золото под действием электрических лучей.

Трудно сказать, каким образом сообщение профессора Литте стало известно газетам. Но факт остается фактом. Через три дня вышла «Патриотише Рундшау». Громадный заголовок первой страницы гласил: «Каждый честный немец может иметь свой миллион!» А ниже — чуть помельче: «Секрет получения золота открыт!»

В течение двух последующих месяцев профессор Литте имел

возможность убедиться, что выражение «бремя славы» — не просто цветистая метафора.

Корреспонденты и фоторепортеры — те вели себя сравнительно пристойно. Они терпеливо подстерегали профессора у его виллы, бросаясь на каждого, кто выходил из дома. Но представители фирм, больших и малых, были совершенно несносны. Они нахально лезли в служебный кабинет профессора, будили его ночью телефонными звонками, неожиданно возникали в столовой во время утреннего кофе, портя профессору настроение и аппетит. Вкрадчивыми голосами они сулили Литте неземные блага, если он согласится продать секрет изготовления золота именно их фирме. При этом они зло и не всегда прилично ругали своих предполагаемых конкурентов.

Энтузиазм промышленников был подогрет еще и тем, что японский химик Нагоака, проверив сообщение Литте, полностью подтвердил выводы немецкого исследователя. Нагоака добавил при этом, что Япония в ближайшем будущем собирается начать исследования по изготовлению золота из ртути в промышленных масштабах.

Разноречивые толки и газетная шумиха начали уже действовать на нервный организм биржи. Словом, дело грозило зайти далеко. И эго побудило профессора Литте выступить на страницах научного журнала с подробным изложением существа вопроса и своих предположений.

Журналисты судорожно ухватились за эту статью. Вероятно, впервые в истории науки сообщение со страниц солидного научного журнала полностью перекочевало на страницы газет, потащив за собой химические символы, греческие буквы и значки интегралов. Автор заявил совершенно категорически, что какие-либо выводы делать преждевременно, что золото образуется из ртути в чрезвычайно небольших количествах, что стоимость электроэнергии, которая необходима для этого превращения, намного превышает стоимость золота. Однако в будущем… возможно… когда это явление будет изучено подробнее… история науки знает много примеров…

Первым из представителей деловых кругов, кто произвел на Литте благоприятное впечатление, был глава фирмы «Сименс». Господин Шкруббер заявил уважаемому герру профессору, что он не настолько наивен, чтобы не понимать всю бесперспективность в промышленном отношении найденного профессором эффекта превращения ртути в золото. Но его, главу фирмы, не интересует эта сторона вопроса. Он хочет, чтобы немецкая наука обогатилась еще одним славным достижением. Ведь он, глава фирмы, хоть и не очень стар, однако отлично помнит, каким насмешкам

подвергалось изобретение великого Рентгена.

Сравнение с Рентгеном настолько польстило профессору, что он подписал контракт с фирмой, не успев даже толком подсчитать, сколько нулей содержит та цифра ассигнований, которые были отпущены фирмой на ведение работ. Сумма действительно была громадной. Мог ли иметь значение в сравнении с этой цифрой незначительный пункт, что все изобретения, сделанные профессором, полностью переходят в собственность фирмы «Сименс»?!

Через две недели профессор Литте сидел в отлично оборудованном кабинете и едва успевал выслушивать и обдумывать сообщения многочисленных сотрудников. За какой-нибудь месяц был разработан необычайно чувствительный метод, который позволяет определять содержание золота в ртути, даже если драгоценного металла там было не больше одной стотысячной доли процента.

В тот день, когда впервые были подытожены результаты различных экспериментов, профессор Литте ушел из лаборатории очень поздно. Но и назавтра он продолжал смотреть на таблицу результатов с видом глубочайшего недоумения. Действительно, было чему удивляться. В результатах опытов нет никакой, абсолютно никакой закономерности. В одном случае ртуть, «поработавшая» в лампе всего несколько часов, была много богаче золотом, чем ртуть, взятая из старых, «заслуженных» ламп. Иногда оказывалось достаточным пропускать ток через лампу в течение трех минут, чтобы количество золота поднялось в нем впятеро, иногда в результате двухнедельного пропускания тока количество золота не изменялось вовсе.

Впрочем, были и удачи. Больше всего везло одному из ассистентов профессора, высокому и нескладному Рудольфу Кранцу. В анализируемых им образцах золото обнаруживалось всегда в количествах вчетверо-впятеро больших, чем у других экспериментаторов. Это повторялось с таким постоянством, что профессор даже заподозрил ассистента в подделке результатов. Вот почему он однажды провел целый день у рабочего стола Кранца, внимательно наблюдая за ним и даже помогая ему в простейших операциях.

Да, профессор не зря тратил свое время! В тот день в образце Кранца оказалось золота ровно в одиннадцать раз больше, чем в контрольном образце, полученном при первых опытах профессора.

Впоследствии профессор Литте неоднократно пытался припомнить, кто из ассистентов подал ему мысль исследовать, не содержится ли золото в исходной ртути, в той ртути, которая еще

не побывала в лампе. Профессор решительно не помнит, кто это был. Но он точно запомнил, что в ответ на это предложение раздраженно ответил, что он, профессор Литте, приобретал ртуть не в колбасной лавке. Он получил ее от фирмы «Кальбаум». С большим успехом можно искать золото в затхлой атмосфере местной католической церкви — профессор был ярым протестантом. Что ж говорить о препарате фирмы, славящейся своей безупречной репутацией?!

Профессор вспоминал потом об этой вспышке с большим стыдом, потому что меньше чем через два часа обнаружилось, что в ртути фирмы «Кальбаум» («Лучшие в мире препараты!», «100 %-ная чистота!», «Гарантия!») оказалось золота ничуть не меньше, чем в средних опытах. Да, конечно, фирма «Кальбаум» не была виновата. Просто ее химики не располагали таким сверхчувствительным методом определения золота, как лаборатория Литте. А если бы даже и располагали, то это им помогло бы весьма мало. Потому что, как было показано впоследствии, отделить мельчайшие примеси золота от ртути, которой золото всегда сопутствует, почти невозможно.

Возможно, что профессор тотчас же пошел бы к господину Шкрубберу и заявил, что все его научные предпосылки неверны, что его ввело в заблуждение золото, которое содержалось в исходной ртути. Да, профессор бы поступил именно так, если бы к концу того памятного злополучного дня к нему не явился Кранц и, глядя через очки своими большими голубыми глазами, не показал профессору результат очередного исследования содержимого ртутно-кварцевой лампы. Золота там было по сравнению с исходным в 25 (двадцать пять!) раз больше.

Литте расцеловал удивленного Рудольфа и решительным голосом велел продолжать исследования.

Никто не знает, сколько времени продолжалась бы эта канитель. Но три дня спустя снова явился растерянный Кранц и впервые за все время сообщил, что у него ничего не получается. В последних пробах золота было ничуть не больше, чем в исходной ртути. При этом Литте обратил внимание на то, что Кранц, читая дневник эксперимента, низко наклонился к записям.

— Вы становитесь слишком рассеянны, Кранц, — раздраженно заметил Литте, — сегодня вы забыли свои очки. Или вы так поглощены наукой?

— Н-н-не совсем, — ответил честный Рудольф. — Просто вчера была небольшая вечеринка и я… я вернулся домой без очков.

— Без очков… без очков… — машинально повторял Литте, всматриваясь в лабораторный журнал, — без очков… без очков…

Без очков!!! — внезапно проревел он. — Они были золотые, Кранц? Они были золотые?!!

— Никак нет, — по-солдатски ответил ошеломленный ассистент, — у них была золотой только оправа.

— Майн готт, майн либер готт, — простонал профессор. — И вы идиот, и я идиот, нет, не просто идиот, гроссидиот, вот кто я, Кранц! Ведь это из вашей оправы золото попадало в ртуть. Ведь ртуть растворяет золото лучше, чем вода сахар. О, майн готт! Что я скажу герру Шкрубберу!

Стоит ли теперь рассказывать о дальнейшем? Стоит ли описывать бурное совещание правления фирмы «Сименс», на которое были приглашены в качестве экспертов крупнейшие химики Германии? И уж совершенно излишне рассказывать о тех уловках, к которым прибегнул председатель правления Шкруббер, чтобы убедить членов правления списать убытки. А их, к сожалению, было много, ох как много!

Для нас в этой истории интересно другое: те методы анализа, которые позволили установить, что в любой ртути, независимо от ее происхождения, содержатся вполне определяемые количества золота.

А количества эти были чрезвычайно малыми. Ну, сколько может быть золота в ртути, если даже следы его, перешедшие с оправы очков или золотых запонок, увеличивали его содержание в десять, а то и больше раз?

Действительно, золота в ртути находится не более одного грамма на 100 килограммов неблагородного металла. И тем не менее химики сумели отыскать такие ничтожные следы золота в «океане» ртути. Совершенно очевидно, что, не обладай Литте таким совершенным способом определения золота, одной сенсацией было бы меньше и одной сохраненной репутацией больше.

Следует ли из этого, что для химиков вредна чрезмерная точность анализа? Ну, разумеется, нет. Догадайся Литте проверить, содержится ли золото в исходной ртути, все было бы в порядке. Но в те времена об этом даже невозможно было подумать.

Не всегда химикам была доступна такая высокая точность эксперимента. Всего за каких-нибудь 150 лет до этого химики не могли обнаружить примеси даже в 100, даже в 1000 раз большие.

Весы создают химию

В Ленинграде в одном из зданий, которое глядит своими высокими и узкими окнами в Неву, есть большая круглая комната. Там царит торжественная музейная тишина. Застыл в нише телескоп, какие увидишь разве что только на картинах рядом с портретами старинных ученых. Тускло отсвечивает потемневший от времени глобус с непривычными для нас очертаниями земных материков. Под потолком висит сложное приспособление: не то змей, не то устройство для добывания атмосферного электричества. Посредине комнаты стоит небольшой столик, а на нем весы под стеклянным колпаком. Весы как весы. В любой школьной лаборатории можно встретить весы много интереснее. За что же им такой почет? Почему они удостоены такой «чести», которой не добились многие весы в современных академических лабораториях, — ведь стеклянными колпаками покрывают самые точные приборы!

Удивляться тут не приходится. Все эти приборы священны для истории нашей науки. Ими пользовался Михаил Васильевич Ломоносов.

Правильнее всего было бы над весами Ломоносова повесить надпись: «Прибор, который положил начало современной химии». Создав закон сохранения веса вещества, который экспериментально был доказан на этих самых весах, Ломоносов утвердил химию как точную науку. С тех пор весы стали самым главным орудием исследования любого химика.

Возьмем химические сочинения, написанные не в глубоком средневековье, а почти в «наше время» — лет за 30–40 до Ломоносова. Сплошь и рядом там можно встретить такие описания экспериментов: «Было взято количество соды (мы переводим выражения химиков того времени на наш химический язык), умещающееся на ладони, к нему прилили серной кислоты по усмотрению. Затем упаривали некоторое время и получили осадок много тяжелее, чем взятая сода». Вот и пойми, что хотел сказать автор! У одного рука большая, у другого маленькая, у одного на ладони и 50 граммов соды не уместится, а другой своей лапищей может загрести с килограмм. А кислоты сколько приливать? По моему «усмотрению» стакана кислоты будет мало, а иной читатель решит, что и тпр. х капель более чем достаточно.

Утвердив в качестве закона положение, что вещество при химической реакции не может ни исчезать, ни возникать, что, «ежели в одном месте сколько убудет, столько присовокупится в другом», Ломоносов тем самым подвел под химию единственно

правильный и строго научный фундамент.

Теперь, смешивая два вещества, ученые не должны были гадать, будет ли продукт реакции весить больше или меньше взятых исходных веществ. Нет, они твердо знали, что вес веществ, вошедших в реакцию, должен быть точно равен весу продуктов реакции.

Точность исследований в то время — двести лет назад — была невысока. Только у Ломоносова, Лавуазье и некоторых других исследователей были тщательно изготовленные инструменты. Весы же большинства других ученых имели такую точность, что на них в наше время иной продавец не согласился бы взвешивать даже картофель.

Но так продолжалось недолго. Уже в начале прошлого века принадлежностью каждой химической лаборатории стали весьма точные весы. Причина этого лежала в значительном развитии химической промышленности и, как следствие этого, химического анализа.

Чем бы химик ни занимался в своей лаборатории: получением нового вещества, воспроизведением уже описанных опытов, изучением какой-либо реакции, — всегда его работу венчает химический анализ.

Только анализ может дать ответ на вопрос, какое именно соединение получено, правильно ли вел исследователь процесс, достиг ли он желаемого результата.

Анализ — дело не простое. Тут нельзя работать кое-как. И реактивы необходимы самые чистые, и посуда должна блестеть, и вычисления требуются правильные. Ну, а весы, само собой разумеется, должны быть возможно точными.

С развитием науки и техники требования к химическому анализу повышались довольно быстро. Вот почему спустя сто лет после работы Ломоносова ученые располагали приборами, с помощью которых можно было производить взвешивание с точностью до одной тысячной грамма.

А еще через каких-нибудь 40–50 лет в любой химической лаборатории, где проводились химические анализы, стояли весы, чувствительность которых составляла две десятитысячные грамма.

Две десятитысячные? Эту крупинку даже не во всякий микроскоп разглядишь. Зачем же понадобилась такая точность взвешивания химикам?

Расчет здесь простой. Для того чтобы результаты анализа были достоверны, необходимо определять процентное содержание элементов в соединении с точностью до одной сотой доли процента. Иначе о составе соединения уверенно судить

невозможно. Если для исследования состава соединения брать количества вещества в один грамм, то нетрудно подсчитать, что десятитысячные доли грамма как раз будут составлять те сотые доли процента, которые так нужны химику.

Взвешивание на «четырехзначных» весах — так их прозвали химики — дело, требующее особой сноровки и осторожности. Забудешь прикрыть дверцы стеклянного ящика, которым накрывают такие весы, вот и нарушилось равновесие. На одну из чашек упали две-три пылинки. Они и глазом-то невооруженным не видны. А стрелка весов сигнализирует: на чашки попало что-то постороннее.

Теперь изволь смахивать пыль замшевой тряпочкой, да осторожнее, чтобы не повредить нежные детали!

Такие весы теперь имеются буквально в каждой химической лаборатории. Студенты, например, начинают знакомство с химией с работы на таких весах.

Но «четырехзначные» весы — далеко не предел. Уже несколько десятилетий назад появились приборы, на которых взвешивали вещество с точностью до одной стотысячной доли грамма. Дело в том, что те количества, которые химики брали для проведения анализа, — один грамм — скоро показались им чрезмерно большими. Особенно были недовольны «органики» — специалисты в области органической химии. Действительно, при приготовлении какого-либо вещества приходится часто вести синтез продолжительно, нередко по две-три недели, а то и дольше. При этом получаешь всего 2–3 грамма продуктами изволь почти половину этого количества пустить на анализы. А ведь при анализе вещество пропадает безвозвратно: его разлагают на составные части. Нет, это слишком расточительно! На проведение анализа исследователи могли отпустить самое большее одну десятую грамма. Но тогда надо в десять раз повысить чувствительность весов.

Так в химию вошел пятый десятичный знак…

Весы, на которых можно производить взвешивание с такой точностью, тоже не редкость в исследовательских химических лабораториях. Но они заметно отличаются от своих «четырехзначных» собратьев. Начать с того, что им воздаются гораздо более высокие «почести», чем их менее чувствительным коллегам. Стоят они обычно в отдельной комнате, на специальной подставке, укрепленной в стене. Температура в помещении должна быть всегда постоянной, за перемещением стрелки весов наблюдают в специальное оптическое приспособление.

Всего один лишний десятичный знак — а сколько

дополнительных хлопот!

Дальше темпы усовершенствования весов несколько убавились. Не потому, что в усовершенствовании не было необходимости. Жизнь требовала от ученых все более точных определений. Но различные хитроумные приспособления делали весы слишком громоздкими и капризными. Работать с такими весами в каждой лаборатории было уже невозможно.

Но это не значит, что химики прекратили наступление на десятичные знаки. На помощь взвешиванию пришли другие методы анализа.

Весы? нет, лучше…

У каждого в доме, вероятно, есть маленькие темные кристаллики в стандартной аптечной упаковке, которые мы называем марганцовкой. Марганцовка применяется для дезинфекции, растворами ее полощут горло при некоторых заболеваниях. Марганцовка — это марганцовокислый калий, соединение, которое очень легко отдает свой кислород и поэтому губительно действует на различные болезнетворные микроорганизмы. Но нас сейчас интересуют другие свойства марганцовокислого калия.

Возьмем маленький кристаллик этого вещества и бросим в стакан воды. Вода через некоторое время окрасится в густо-фиолетовый цвет. Это уже само по себе интересно: кристаллик очень маленький, а окраска получилась такая, что, поставь стакан против лампы — и на просвет ничего не увидишь.

Разбавим содержимое стакана вдвое, вчетверо… Окраска будет постепенно ослабевать, но все же не исчезнет. Еще очень много раз нам придется приливать воду, прежде чем окраска раствора уже не будет заметна.

Возьмем такой раствор, окраску которого можно еще различить невооруженным глазом. Сколько вещества содержится в таком растворе, или, как говорят химики, какова концентрация этого раствора? Это установлено с большой точностью. В двухстах миллилитрах[1] такого раствора, то есть в объеме стакана воды, его всего одна десятитысячная доля грамма. Если выражать концентрацию этого раствора в процентах, то получим число 0,0005 % — пять десятитысячных.

Нетрудно составить зависимость между содержанием окрашенного вещества в растворе и окраской этого раствора. После этого определение концентрации раствора будет совсем простым делом: понятно, что чем интенсивнее окраска раствора, тем больше окрашенного вещества содержится в нем.

Этот метод анализа был назван колориметрическим (от слова «колор» — цвет). Нетрудно убедиться, что в смысле чувствительности колориметрические методы обладают большим преимуществом перед весовыми. Чтобы определить концентрацию раствора того же марганцовокислого калия колориметрическим методом, необходим очень простой прибор — колориметр, десять миллилитров вещества и три минуты времени.

Теперь посмотрим, сколько операций потребовалось произвести для того, чтобы проанализировать раствор с помощью

весов. Концентрация нашего раствора 0,0005 %. Это значит, что в миллилитре его содержится всего пять миллионных долей грамма вещества. Если мы выпарим раствор досуха и попытаемся взвесить сухой остаток, то весы ничего не зафиксируют: как мы помним, аналитические весы реагируют лишь на количества, не меньшие чем одна-две десятитысячные доли грамма. Вот почему придется упаривать не меньше двух литров раствора, чтобы получить тот ничтожный осадок, который все же может быть зафиксирован весами.

Многим известна краска «берлинская лазурь» красивого синего цвета. Эта краска образуется, если к раствору какой-либо соли железа прилить раствор желтой кровяной соли. Оказывается, окраска возникает даже в том случае, если содержание железа в растворе не превышает трех сотых долей грамма в одном литре, или трех стотысячных долей грамма в одном миллилитре. А 0,00003 грамма — это уже обычным аналитическим весам не «под силу». Желтую кровяную соль поэтому называют реактивом на соединения железа. Как видим, это очень чувствительный реактив.

Однако чувствительность желтой кровяной соли — ничто по сравнению с действием другого определителя железа, органического вещества фенантролина. С помощью этого реактива можно обнаружить в одном миллилитре раствора две десятимиллионные доли грамма железа: 0,0000002, или $2 \cdot 10^{-7}$.

Органические реактивы найдены почти на все элементы. Каждый из них реактивов позволяет обнаружить с помощью соответствующей окраски от стотысячных до десятимиллионных долей грамма элемента и одном миллилитре раствора. Очевидно, что никакие весы не могут сравниться по чувствительности с колориметрическими реакциями.

Кстати, определение содержания золота в ртути в опытах Литте проводилось реактивом, обладающим весьма длинным и звучным названием: паратетраметилдиаминодифенилметан. Этот реактив позволяет обнаружить миллионные доли грамма золота.

Если учесть, что в каждом грамме обычной ртути содержатся вдесятеро большие количества золота, то становится понятным, что Литте и его сотрудники открыли лишь то, что было в ртути с самого начала (внеся, впрочем, дополнительные количества золота из очков, запонок, колец и других золотых предметов).

С помощью органических реактивов научились не только вызывать появление окраски, которая «выдает» нам присутствие того или иного элемента в растворе, но также и переводить эти элементы в не растворимые в воде соединения. Можно назвать здесь в качестве примера органический реактив

диметилглиоксим. Этот реактив был открыт известным русским химиком Л. А. Чугаевым в начале нашего столетия. Если в растворе, к которому прибавлен диметилглиоксим, имеются хотя бы ничтожные количества металла никеля, то сейчас же образуется осадок. Взвешивая осадок, можно судить, сколько металла было в исследуемом растворе. С помощью диметилглиоксима можно определить содержание никеля в растворе, даже если оно не превышает одной стомиллионной грамма (10^{-8}) в одном миллилитре.

Начиная с 30-х годов в практику химического анализа все больше стали внедряться так называемые физические методы. Ученые настойчиво искали заменителей своим органам чувств: «глаза», которые видели бы лучше человеческих, «руки», которые были бы чувствительнее наших, «слух», который позволял бы слышать неслышимое.

Эти методы в настоящее время прочно вошли в практику химических исследований и оказали неоценимую услугу ученым.

Здесь прежде всего надо назвать спектроскопию. Спектроскопия — один из самых молодых методов исследования, но вместе с тем и, пожалуй, самый уважаемый. Когда ровно сто лет назад было открыто, что каждый элемент по-своему окрашивает пламя горелки, это не вызвало поначалу особого удивления. В середине XIX столетия, когда возникла спектроскопия, химия переживала бурное время важнейших открытий. Это были первые годы существования молекулярной гипотезы, чуть ли не каждый месяц приносил новые, и притом весьма большие, достижения в области органической химии, рождались новые методы анализа.

Первые же шаги спектроскопии начались с научного триумфа. «Боевым крещением» этого метода было открытие двух новых элементов — рубидия и цезия. Открытие нового элемента всегда почиталось делом великой важности и представляло весьма видное событие в химической науке. Вот почему спектроскопия сразу обратила на себя внимание.

Уважение к этому методу возросло еще больше, когда за какой-нибудь десяток лет с ее помощью были открыты элементы таллий, индий, германий, галлий и другие.

Апофеозом же этого метода было открытие гелия.

В 1868 году в протуберанцах[2] Солнца была замечена яркая желтая линия, которая не отвечала ни одному из известных на Земле элементов. Этот элемент по имени Солнца (солнце по-гречески — «гелиос») был назван гелием. Прошло несколько десятков лет, прежде чем гелий был открыт на нашей планете, вначале в виде незначительных примесей к минералам, а затем

уже в атмосфере.

Интересно, что с помощью спектроскопии были открыты те элементы, содержание которых в минералах и породах ничтожно.

Уже одно это может указывать на то, что спектроскопия позволяет обнаружить чрезвычайно малые количества элементов. Нетрудно убедиться самому, что это именно так. Для этого не надо располагать сложными оптическими приборами, какими сейчас пользуются при спектроскопических измерениях. Достаточно иметь спиртовую или, еще лучше, газовую горелку. Если внести в пламя горелки платиновую или хорошо прокаленную стальную проволоку (например, струну), то окраска пламени не изменится. Но достаточно предварительно провести этой проволочкой по ладони, а затем внести в пламя, как оно окрасится в ясно видимый желтый цвет. Это цвет элемента натрия. Откуда натрий, спросите вы? Дело в том, что поры нашей кожи беспрестанно выделяют пот, который содержит заметные количества поваренной соли — хлористого натрия. Вот почему в пламени горелки «проявился» цвет этого элемента. Теперь представьте себе, сколько хлористого натрия могло содержаться на поверхности ладони, и чувствительность спектроскопии станет очевидной.

Действительно, с помощью очень простых установок мы можем улавливать количества элементов в стомиллионные доли грамма. Это значит, что если нужный нам элемент содержится в сырье (породе или минерале) в количестве одного грамма на сто тонн, то он все равно будет обнаружен методом спектроскопии.

Спектроскопия и органические реактивы — вот, пожалуй, весь тот арсенал средств, которыми располагали химики тридцатых годов при изучении малых количеств веществ.

Тем более удивительно, что, имея такие скромные в сравнении с нашим временем возможности, химики тех лет обогатили науку замечательными достижениями. Прежде чем познакомить читателя с этими открытиями, я хочу рассказать об одном деле, которое слушалось в 1933 году в германском таможенном суде. Я привожу эту историю отнюдь не для того, чтобы развлечь читателя детективным рассказом. Дело в том, что события, разыгравшиеся в чопорных стенах имперского суда, самым тесным образом связаны с некоторыми химическими открытиями, о которых идет речь в этой книге.

Детективная история

В имперском таможенном суде был большой день. Еще бы! Слушалось дело не о каких-то контрабандистах, спрятавших в подошвах башмаков три пары чулок, или об очередном торговце, не заплатившем вовремя пошлину за партию лионского белья. На скамье подсудимых сидели — одновременно! — восемь крупнейших берлинских ювелиров. Слушалось дело об американской платине.

Полицейское управление всегда смотрело сквозь пальцы на коммерческие операции господ ювелиров, хотя многие из этих операций не очень укладывались в рамки закона. Но, когда анонимные доносы в полицейское управление посыпались слишком уж настойчиво, пришлось решиться на обыск. В результате во всех магазинах были обнаружены большие запасы платины. Господа ювелиры, которых допрашивали порознь, измышляли что могли, лишь бы не дать сколь-нибудь ясного объяснения насчет происхождения платины. В таможенных книгах о поступлении через границу такого количества металла не говорилось. Вот почему пришлось начать этот процесс, в результате которого на крупнейших ювелирных магазинах Берлина уже три месяца уныло висели замки.

Публика в зале называла имена судьи, прокурора, но мало кто мог подумать, что решающее влияние на течение дела окажет малоприметный эксперт, имя которого решительно ничего не говорило ни судьям, ни публике, привлеченной в зал громким процессом.

Основной вопрос, в котором предстояло разобраться суду, — это происхождение платины. Господа ювелиры утверждали, что платина эта немецкого происхождения, сплавленная из различных платиновых изделий. Полицейское управление настаивало на том, что платина завезена тайно из Южной Америки. Платина находилась в небольших слитках в виде почти стопроцентного металла. Казалось, что выхода не было и следствие зашло в тупик.

Бесконечные прения сторон успели порядком надоесть публике, и поэтому объявление председателя суда, что слово дается ученому эксперту, нисколько не ослабило ровного гула в зале.

Вечерние газеты, старающиеся перещеголять друг друга в остроумии, сообщали, что продолжительность речи глубокоуважаемого профессора в полной мере соответствовала ее непонятливости.

Что и говорить! Не часто в зале имперского суда звучали химические и физические термины. Вот почему председатель слушал профессора морщась и мучительно старался припомнить те скудные сведения из химии, которые он получил в училище правоведения.

Эксперт начал, видимо, издалека, с вещей, на первый взгляд, не имеющих ничего общего с сомнительными операциями господ ювелиров.

— Современная аналитическая химия, — говорил эксперт, — обладает громадными возможностями. При помощи различных методов мы можем определить в одном грамме вещества такие ничтожные количества примесей, которые по размерам своим, пожалуй, даже недоступны человеческому воображению. Удалось установить, что самое чистое вещество содержит постоянно в виде примесей доступные определению количества почти всех известных нам химических элементов.

Вот хотя бы элемент никель. Этот металл в заметных количествах содержится только в рудах, малочисленных никелевых минералах и в сплавах. Но, несмотря на это, его можно обнаружить и во всех растениях и в животных организмах. Никель имеется и в сукне, из которого сшит сюртук, и в пуговицах, на которые он застегнут.

Точно то же можно сказать и о более редких элементах, например золоте…

— Золоте? — переспросил заинтересованный председатель. — Продолжайте, господин профессор, продолжайте…

— Золото, подобно всем другим элементам, незримо присутствует повсюду.

— Не может ли господин эксперт, — перебил выступающего язвительный защитник одного из ювелиров, — сказать, сколько содержится золота во мне, например?

— Так как тело господина адвоката не особенно отличается по составу от тела серых крыс, над которыми мы производили эксперименты, то три десятимиллионные доли вашего уважаемого веса следует отнести за счет золота, — невозмутимо отвечал профессор. — Кстати, следует отметить, — продолжал он свою речь, — что примеси различных элементов в металлах одного происхождения находятся в одинаковом соотношении. И, напротив, микропримеси к железу одного из рудников будут отличаться по количеству, а зачастую и по качеству от микропримесей железа, которое добывали в другом руднике.

Все это дает возможность установить происхождение платины, предложенной для экспертизы. Мы подвергли анализу

ряд изделий, изготовленных из платины заведомо южноамериканского происхождения. Точно так же нами были исследованы изделия из уральской платины. Сличив результаты анализа с данными, полученными при исследовании образцов, представленных мне судом, я прихожу к выводу, что эта платина несомненно американская. Об этом говорит большое количество меди в ней и малое количество мышьяка.

Показания эксперта предопределили решение суда. Приговор, впрочем, не был особенно суровым. Подсудимые были состоятельными людьми, а с такими молодой райх предпочитал сохранять хорошие отношения.

Спустя месяц рекламные огни снова освещали ювелирные магазины, в широких витринах которых, сверкая застывшими улыбками, стояли увешанные драгоценностями манекены.

Периодическая система в… куске мела

Вот какое неожиданное применение получила формирующаяся в то время проблема малых количеств веществ.

Вряд ли стоило бы сейчас вспоминать о кучке берлинских спекулянтов, если бы в истории с ними весьма рельефно не отобразилось одно из наиболее крупных достижений химии того времени — учение о повсеместном присутствии химических элементов.

Но сначала кое-что о цифрах. Есть ли какая-либо разница между числами 100,0 и 100,000? Не торопитесь говорить «нет». Лучше еще раз подумайте. Считаете, что все равно разницы нет? Ну что ж, с точки зрения математики, быть может, вы и правы. Но я — химик и поэтому заявляю: разница есть, и весьма существенная.

— Что за вздор? — возразят мои оппоненты. — При чем тут разница между химиком и математиком? Сотня есть сотня!

Попробуем разобраться. Пусть вы едете на автомашине по шоссе. Заметили вон то дерево? Проедем от него километр, отмерив расстояние по спидометру. Стоп! Километр проехали. Теперь выйдем из машины, присядем на травку, займемся вычислениями.

Итак, мы проехали километр. 1 километр = 1000 метров. 1000 метров = 100 000 сантиметров. Можем ли мы сказать, что проехали сто тысяч сантиметров? Кто сказал «да», тот, конечно, ошибается. Почему? Можно ли утверждать, что автомашина от того дерева прошла именно сто тысяч сантиметров? А может быть, 100 002 или 99 998 сантиметров. Разница еще большая! В лучшем случае, мы можем утверждать, что машина проехала 1000 метров, да и то возникнут сомнения: 995, скажем, или 1008. Как видим, количество знаков в цифре совсем не безразлично для внутреннего содержания этого числа.

Если написано, что машина проехала 1 километр, никто не станет утверждать, что она проехала на метр меньше или на десять метров больше. Но если сказано: машина проехала 1,00 километра, то это означает, что автор утверждения ручается, что указанное им расстояние измерено с точностью до сотых долей километра, иными словами, до десятков метров.

Теперь уже понятно, что величина 1,0000 километра обозначает, что расстояние измерено с точностью до десятитысячных долей километра, или до дециметров. Итак, и нули могут нести большую смысловую нагрузку.

То же самое и в химии. Не безразлично будет сказать, что

вещество имеет 100 % или 100,0 % чистоту. В первом случае эта чистота может выражаться также числом, например, 99,6 а во втором — 99,96. Как видим, разница большая.

Было время, когда и химики не очень обращали внимание на эти нюансы, но эти «беззаботные» времена давно миновали.

Есть такая наука геохимия. Занимается она изучением химического состава различных горных пород, минералов, вод морей и рек. Химический анализ минерала — вещь самая обычная. Определяют, сколько какого элемента входит в состав этого минерала, и делу конец. Если сложить процентное содержание всех элементов в минерале, сколько должно получиться? 100 % — тут и гадать нечего. Действительно, химики проделывали тысячи анализов, и если только анализ проводился правильно, то всегда получалось 100 %.

Однако мало кто из этих аналитиков задавался вопросом: а какого «чина», так сказать, эти сто процентов? Можно ли написать 100,0 % или 100,000 %. И вот, когда задумались над этим, оказалось, что только в самых лучших случаях можно писать 100 % (т. е. это, как мы теперь знаем, может быть и 99,91 и 99,66 и т. п.). В подавляющем же большинстве случаев следовало бы писать 99,9 %.

И вот в этой одной десятой процента оказалась бездна чрезвычайно интересных вещей.

Есть такой минерал — цинковая обманка. Во всех учебниках химии можно, найти, что это такое: сернистый цинк ZnS. Правильно, так, в основном, оно и есть. Но в чистом сернистом цинке цинка должно быть 67,09 %, в минерале же, как показывает точный анализ, его всего 63,55 %. Серы должно быть 32,91 %, а в обманке — 31,92 %. Сложим эти проценты: 95,47. До ста процентов, как видим, еще далеко. Значит, в минерале есть еще что-то. Это, конечно, неудивительно: разве может природный минерал быть таким же чистым, как химический реактив, специально приготовленный в лаборатории?

Действительно, произведя дополнительный анализ, можно установить, что в нашем образце имеются весьма значительные примеси железа — 1,57 %, кремния — 0,34, марганца — 0,27, кислорода — 0,15, свинца — 0,15, мышьяка — 0,15 и меди — 0,13 %. Перед вами результаты анализа, который не так давно назывался полным.

Но действительно ли он полный? Сложим все эти результаты. Да, анализ почти полный — получилось 99,22 %. На долю чего же приходятся остальные 0,78 %?

Нет надобности дальше утомлять читателя числами. Скажу только, что при весьма тщательном анализе можно набрать еще

около семи десятых процента. Эти 0,7 % приходятся на элементы: водород, кальций, кадмий, алюминий, магний, селен, хлор, сурьму, углерод, фосфор, натрий, калий, титан, висмут.

Итак, анализировали цинковую обманку, которая должна состоять из цинка и серы, а нашли уже 23 элемента. Но ведь это не все. Еще остается около 0,1 %. На долю примерно одной десятой процента приходится содержание еще 23 элементов. Я не буду всех их перечислять. Скажу только, что среди них находятся такие, как германий, индий, золото (его в цинковой обманке приблизительно 0,0005 %). Но самое интересное, что эти 23 элемента в сумме опять-таки не дадут ровно 0,08 %. Будет еще и остаток, приблизительно в одну тысячную процента. Чтобы установить, что входит в эту одну тысячную, и пришлось прибегнуть ко всем тем тонким методам исследования, которые были описаны в предыдущих разделах. Оказывается, в этой одной тысячной можно с абсолютной достоверностью установить наличие еще 30 химических элементов.

Всего 76 элементов. Итак, почти вся Менделеевская таблица в одном куске цинковой обманки.

Этот минерал не представляет исключения. Пусть не создастся мнение, что цинковая обманка приведена тут в качестве примера из-за того, что только ей свойственна такая замечательная особенность. Ничего подобного. Опыты показали, что во всех исследованных минералах можно найти ничуть не меньшее количество химических элементов, чем в рассмотренной нами цинковой обманке.

От изучения минералов перешли к другим объектам. Оказалось, что какой бы предмет ни подвергнуть тщательному анализу, будь то кусок мела или коровье молоко, пепельница или молоток, школьная тетрадь или кухонный половник, — всюду можно найти почти все элементы Периодической системы. Как и в случае с обманкой, содержание одних будет составлять десятки процентов, другие будут находиться там в десятых долях процента, а третьи будут лежать за пятым или шестым десятичным знаком: их будет там не более одной стотысячной, а то и меньшей доли процента.

Одна стотысячная процента — это очень мало. Если установлено, что в данной породе, например, содержится такое количество какого-либо элемента, то потребовалось бы переработать десять тысяч килограммов ее, чтобы добыть только один грамм элемента. Вот почему бессмысленно, например, добывать золото из цинковой обманки, хотя присутствие его там установлено с несомненностью.

Совершенно очевидно, что, не обладай химики такими

чувствительными методами анализа, нельзя было бы установить этот в высшей степени интересный факт, называемый теперь эффектом повсеместного· присутствия химических элементов.

Что и говорить, нужно было достичь виртуозного мастерства, чтобы суметь отыскать и установить содержание элемента, который находится в количестве нескольких десятитысячных или стотысячных долей процента. И это мастерство не пропало даром, потому что умение оперировать с исчезающе малыми количествами вещества принесло науке такие открытия, которые даже через много сотен лет будут называться удивительными. Да, именно удивительными. Самый взыскательный читатель не обвинит меня в неудачно выбранном определении, когда познакомится с проблемами, которым посвящены следующие главы.

АЛХИМИЯ XX ВЕКА

Бискайская история

Настоящие алхимики вовсе не сидели в мрачных и низких подвалах: они большей частью работали на воздухе. Это были обыкновенные и зачастую жизнерадостные люди. И даже не у каждого из них была борода! И уж совсем мало кто из них держал у себя в лаборатории такую невеселую вещь, как человеческий череп. Нет, алхимики были совсем не такими, как их любят изображать современные художники!

Не были они и пройдохами, какими их представляют авторы некоторых книг и рассказов о средневековой химии. Никогда жажда к наживе не смогла бы двигать науку, тем более в течение веков. А то, что алхимия была наукой, сомневаться не приходится. Конечно, попадались среди алхимиков и такие, которых прежде всего интересовало золото. Были и просто мошенники, обманывавшие легковерных правителей.

В старых книгах и журналах я нашел кучу историй об этих прощелыгах. И надо отметить, что ни один из них не умер своей смертью. Одних вешали, когда открывались их проделки; других после первого же «удачного» опыта казнили короли, боявшиеся, что владелец «секрета» убежит и предложит свои услуги соседнему герцогу; третьих медленно умерщвляла пытками святая инквизиция, справедливо усматривавшая в попытках искусственного изготовления золота покушение на монополию господа бога в такого рода делах.

Но почему-то совсем мало пишут о тех алхимиках, которые скромно возились в своих домашних лабораториях. Они искали «философский камень» не только ради его способности превращать в золото неблагородные металлы. В этом камне они видели прежде всего средство исцеления от болезней и продления жизни. Именно эти неизвестные труженики алхимии писали смешные для нас, но полные смысла для них трактаты, вроде «О добродетели и составе воды». Да, да, добродетель тоже почиталась предметом алхимии!

В то время как мошенники, прикрывавшиеся именем алхимиков, изыскивали способы, как получше надуть жадных и не очень умных правителей, настоящие алхимики упорно растворяли, перегоняли, прожаривали, взбалтывали сотни веществ и в результате дали для будущей химии очень и очень немало.

Начать с того, что алхимики чуть ли не вдесятеро увеличили количество известных науке соединений по сравнению с тем, что было известно древним грекам. Алхимики открыли важнейшие

способы воздействия на вещество или смесь веществ с целью возбуждения химической реакции. Этими способами мы пользуемся и сейчас почти в неизменном виде. Алхимики изобрели самую разнообразную химическую аппаратуру. Очень многие приборы из тех, которые стоят сейчас на столах современной химической лаборатории, почти в таком же виде украшали лабораторию алхимика: это колбы, воронки, реторты, перегонные аппараты.

Именно алхимики нашли важнейшие кислоты, многие органические соединения, открыли способ сухой перегонки дерева.

Начиная рассказ об алхимии XX века, я считаю своим долгом дать читателю правильное представление об истинной алхимии, убедить его, что слово «алхимик» не должны считать бранным. И я подумал, что очень хорошей иллюстрацией к сказанному будет история о бенедиктинском монахе Лоренца Пика.

Я натолкнулся на эту историю случайно, рассматривая одну старую книгу. Эта книга была напечатана на немецком языке еще в 1809 году и содержала различные сведения из истории естественных наук. На толстых и ломких от времени страницах этой книги я и вычитал историю о монахе Лоренца Пика. Конечно, там она излагалась сухим и подчеркнуто бесстрастным тоном, который прежде считался единственно приемлемым для научных сочинений. Но подробности нетрудно было прочитать, как говорят, «между строк». Вот она, эта история.

… Ветер с моря подымал с прибрежных дюн тонкие и острые струйки песка. Они заводили пронзительную песню, напоминавшую стенания грешных душ в преисподней. Когда это сравнение пришло в голову отцу-настоятелю бенедиктинского монастыря Святого Назера, то он, несмотря на трагичность положения, не мог не улыбнуться. Монастырь стоял в нескольких лье от берега Бискайского залива, на высоком берегу Луары и был хорошо виден в лучах заходящего солнца. От этого монастыря, сопровождаемые заунывным пением двух уже охрипших мальчиков-прислужников, увязая в густом песке и тяжело дыша, ползли на коленях братья-бенедиктинцы, возглавляемые идущим отцом-настоятелем.

Первым полз брат Лоренца Пика, который, собственно говоря, и был причиной этой диковинной процессии.

Частная записка папы Климента V, написанная слишком красиво и вычурно, чтобы быть просто запиской, а не повелением, предписывала монастырю Святого Назера заняться «поиском тех замечательных веществ, которые превращают неблагородные металлы в золото, столь необходимое. нам сейчас в то

многотрудное время, когда наши братья во Христе отвернулись от нас настолько, что руководители богопротивного ордена тамплиеров, обладая секретом философского камня, отказываются нам его сообщить».

Отец-настоятель, читая тогда эту записку, не смеялся, нет, а почтительно улыбался, что, по правде говоря, тоже было порядочной крамолой». Было слишком очевидно: письмо написано под диктовку одного из соглядатаев Филиппа IV, которые вечно подвизались в папской резиденции. «Красавчик Филипп», как его малопочтительно называла почти половина Франции, растратил все свои и без того малые средства на борьбу с папой Бонифацием VIII, борьбу, которую он вел с упорством и кровожадностью хорька. Но зато следующий папа — Климент — фактически был прислужником короля.

Настоятель знал, что папа не случайно избрал его монастырь. Монастырь Святого Назера вот уже двадцать лет отличался своей ученостью от прочих. Основная заслуга в этом принадлежала Лоренца Пика, который сейчас, дыша тяжелее других, полз по песку, помогая себе руками.

Свободные нравы в монастыре Святого Назера были, можно сказать, освященной десятилетиями традицией. Даже невыход к утренней обедне не почитался там за тяжелый грех. Вот почему Лоренца Пика, который поступил в этот монастырь в 1387 году, мог свободно заниматься изучением естественных наук и достиг в этом деле немалых успехов. Автор книги сообщает, что Лоренца Пика даже изобрел телескоп — за 200 лет до Галилея! — и наблюдал в него Луну. Он оставил сочинение о чудесных свойствах вещества, называемого теперь окисью ртути, которое бесконечное число раз можно превращать в блестящую ртуть, и обратно. Последнее открытие, впрочем, задолго до Лоренца сделали арабы. Но весьма вероятно, что он об этом не знал.

Так тянулась безмятежно спокойная жизнь Лоренца Пика в монастыре Святого Назера, жизнь, не нарушаемая происками братьев-бенедиктинцев, которые, на счастье, отличались нравом спокойным и веселым. И так шло до тех пор, пока не пришло в монастырь письмо Климента. Срок на отыскание рецепта приготовления золота был очень небольшим. В том же, что такой рецепт существует, папа не сомневался. Торжествующие декларации ордена тамплиеров о том, что он может получить много золота, только подогревали нетерпение Климента. Правда, хорошо осведомленные кардиналы из папского окружения не раз осторожно намекали его святейшеству, что тамплиеры добывают золото не столько с помощью «философского камня», сколько убийствами и шантажом. Однако начитанный папа сейчас же

приводил в доказательства сочинения знаменитого Арнольда Виллановануса, имя которого гремело тогда по всем государствам Западной Европы. Виллановануса утверждал, что им найден «философский камень», превращающий ртуть в золото.

Тут будет небезынтересно отметить, что Виллановануса, судя по всему, был дошлым пройдохой. Он описал не только «философский камень», но и «эликсир жизни». «Эликсир» этот был не что иное, как плохо очищенный винный спирт. Он действительно приводил принимавших его в самое радужное настроение. Но сам-то изобретатель «эликсира» знал, чем он потчует легковерных современников, знал, что добывает этот «эликсир» из обычного виноградного вина!

Поиски «философского камня» были поручены, разумеется, Лоренца Пика. Когда тот пробовал отказаться, не совсем искренне ссылаясь на то, что все его помыслы заняты богом, папский посланник сильно рассердился. Кроме того, посланник добавил, что он впервые встречается с таким отношением к священному документу, каким является бумага, подписанная папой. При этом он так выразительно посмотрел на отца-настоятеля, что тот, простерши руки к изображению Святого Назера, поспешно заверил сановного гостя, что при способностях Лоренца золото скоро можно будет вывозить из монастыря на лошадях. С этим посланник и уехал, приказав под конец дать Лоренца в помощь столько монахов, сколько он пожелает, ибо алхимические опыты, как ему известно, многотрудны и суетны.

Вот почему уже на второй день после отъезда посланника Лоренца Пика стал обучать братьев-бенедиктинцев немудрым приемам алхимического мастерства. В монастыре наступили страдные дни. Виноградные гроздья осыпались и гнили без присмотра, а из узких окон трапезной, превращенной теперь в лабораторию, вылетал едкий дым и слова, которые ясно показывали, что знакомство с алхимией отвращает души и помыслы бенедиктинцев от бога.

Сам Лоренца Пика не сомневался, что все рецепты «философского камня», приводимые в различных сочинениях, и прежде всего в сочинениях самого Виллановануса, являются шарлатанством. Эти произведения большей частью представляли набор каких-то слов, которые были не то шифрованным текстом, не то просто галиматьей.

Полутора месяцев с избытком оказалось достаточным, чтобы лишний раз убедиться, что ни один из рецептов получения золота не приводит ни к чему, кроме бесполезной траты времени. Но тут произошло непредвиденное…

Приливая к раствору ртути в разбавленной азотной кислоте,

к которой, видимо, были примешаны соединения йода, раствор серебра в азотной кислоте, Лоренца получил какой-то желтый осадок. Отделив его от раствора, он начал сушить этот осадок. И вдруг, на глазах, порошок из желтого стал ярко-красным. Пика быстро снял жаровню с огня, и порошок медленно стал превращаться снова в желтый. Жаровня была поставлена на огонь — порошок начал краснеть, огонь погасили — и цвет порошка снова стал желтым.

Если бы в наше время кто-либо из химиков столкнулся с этим явлением, он нисколько бы не удивился, поняв, что имеет дело с обычной термокраской[3]. Вещество, которое получил Лоренца Пика, — серебряная соль тетрайодортутной кислоты — действительно является термокраской. Но шестьсот лет назад это открытие произвело потрясающее впечатление. Монахи, столпившись за спиной Лоренца, не дыша смотрели на чудесные превращения. И даже сам настоятель, прибежав в трапезную, вместо того чтобы вознести молитву богородице за дарованное чудо, стоял как столб и дивился наравне с прочими.

Тут монахи впервые уверовали, что то, чем они занимаются, не просто средство скоротать тягучую скуку монастырских дней. Но в тот же вечер, а может быть, несколькими днями позже — разве это имеет значение? — Лоренца сказал бенедиктинцам, что золото не может быть получено искусственным путем и что все попытки сделать это обречены на неудачу.

А еще через несколько дней монахи заявили папскому посланнику, который, приехав в монастырь назад, с нетерпением дожидался результатов опытов, что они отказываются искать рецепт изготовления золота, поскольку из этого все равно ничего не выйдет.

Легко представить себе гнев высокого гостя. Легко вообразить, как он с поспешностью, явно недостойной его высокого сана, вывел коня и умчался из монастыря. А потом, некоторое время спустя, прибыло повеление папы замолить неслыханное неповиновение лично перед папой в Авиньоне, причем из Сен-Назера в Авиньон надо было идти на коленях. Исключение было сделано только для отца-настоятеля.

Вот почему семнадцать монахов ползли на коленях по дюнам Бискайского залива от монастыря Святого Назера, который стоял на высоком берегу Луары и был хорошо виден в багровых лучах заходящего солнца…

Четыре вопросительных

Проблема превращения элементов волновала много поколений ученых. Но природа крепко хранила эту одну из самых сокровенных своих тайн. Атомистическая теория, прочно утвердившаяся в химии к середине прошлого столетия, начисто смела все мистические представления о возможности вызывать превращения одного элемента в другой с помощью каких-то «духовных сил». Приверженцы этих теорий были даже не алхимиками (те зачастую сами не ведали, что говорили), а просто идеалистами. Атомистическая теория подействовала на все эти противопоказанные науке измышления подобно крику петуха на нечистую силу.

Однако провозглашение атома абсолютным и неделимым привело к тому, что ученые впали в другую крайность. В науке укоренилось мнение, что атом неделим, а следовательно, и превращения элементов быть не может.

Только на границе двух веков — XIX и XX — дверь, за которой скрывалась тайна превращения элементов, со скрипом отворилась и из-за нее показался узкий луч света.

Первыми обратили на него внимание знаменитые ученые Мария Кюри-Склодовская и Пьер Кюри. Но они смогли увидеть этот луч только потому, что поднялись к заветной двери по ступенькам, вырубленным Дмитрием Ивановичем Менделеевым.

… Привести в какую-то систему хаос всех сведений о свойствах химических элементов и их соединений — задача мучительно трудная.

Ведь больше трети из известных теперь химических элементов в то время наука не знала. Ведь именно Дмитрий Иванович первый указал, сколько всего элементов должно быть, и предсказал свойства многих из этих неоткрытых элементов.

Менделеев терпеливо перетасовывает свои карточки.

Закона пока еще нет. Ночные сторожа и дворники уже не удивляются тому, что свет в одном из окон профессорского корпуса Технологического института никогда не гаснет.

И действительно, посмотрим на Периодическую систему элементов в том виде, в каком ее впервые опубликовал Менделеев весной 1869 года. Мы видим, что великий химик поставил вопросительные знаки в тех местах, где по его предположению должны были стоять эти неизвестные науке элементы. Менделеевым описаны не открытые еще элементы «экабор», «экаалюминий», «экакремний». Проходит несколько лет, и эти элементы были найдены, получив свои нынешние наименования:

скандий, галлий, германий. Нахождение новых элементов перестало быть делом случая. Оно стало плодом систематических научных исследований. Поэтому не следует удивляться тому, что если за двести лет существования химии было открыто 63 элемента, то поиски каких-нибудь пятидесяти лет, последовавшие за созданием Периодической системы элементов, добавили к этому числу еще около тридцати.

История заполнения пустых клеток таблицы Менделеева очень интересна. О самом конце этой истории необходимо рассказать.

1925 год… Открыт еще один из неизвестных науке, но предсказанный Менделеевым элемент — элемент № 75 — рений. В таблице остались только четыре клетки, в которых вместо символа химического элемента стояли вопросительные знаки — клетки 43, 61, 85 и 87. Самые тщательные поиски этих элементов в различных рудах и химических соединениях не привели пока ни к каким результатам.

Но наступило время, когда было испробовано все. Были исследованы все вероятные месторождения, были применены самые фантастические способы возможного обогащения руд неоткрытыми элементами. Однако попытки оставались безрезультатными. Загадочные элементы под номерами 43, 61, 85 и 87 не желали даваться в руки исследователям.

А время шло…

…Тридцатые годы XX столетия. На Периодической системе Менделеева, висящей и в школьном классе и в лаборатории химика, помещенной в научном издании и в студенческом учебнике, — всюду четыре вопросительных знака. А сколько их, этих вопросительных знаков, в рабочих записях ученых, в лабораторных журналах химиков-экспериментаторов?

Луч света

Способность некоторых химических элементов распадаться с испусканием особых лучей, открытая Анри Беккерелем, поразила воображение современников. Проблема радиоактивности стала в то время одной из самых модных не только в науке, но и в самых широких слоях общества. Парижские модницы предпочитали скромную лабораторию супругов Кюри салонам с картинами Монэ или спектаклю с участием итальянской примадонны. При встречах только и было разговоров, что о замечательных колбах с растворами солей радия, которые светятся в темноте. В Лондоне публика валом шла на лекции известного химика Содди, демонстрировавшего удивительные свойства радия. Мария Склодовская много лет спустя писала в своих воспоминаниях, как утомляла ее шумиха, поднятая вокруг открытия радия.

Бульварная пресса на все лады расписывала свойства радия, хотя ее при этом явно интересовала больше всего баснословная цена этого металла, достигавшая тогда нескольких сот тысяч долларов за один грамм.

Зато ученых волновало научное содержание открытия супругов Кюри. Явление радиоактивности показало, что атом не является чем-то незыблемым, неделимым. Оказывается, возможно превращение элементов друг в друга. А если это так, то нельзя ли, подробно изучая проблему радиоактивности, понять, каким образом устроены атомы веществ?

Последующие годы принесли ученым все, о чем они могли мечтать. Действительно, изучение явления радиоактивности оказалось тем единственным путем, идя по которому стало возможным проникнуть в тайны строения вещества.

Когда явление радиоактивности — естественного превращения атомов элементов — было изучено с достаточной полнотой, возник вопрос: если возможно самопроизвольное превращение элементов друг в друга, то почему бы не попытаться искусственным путем вызвать этот интересный процесс?

Ответ не заставил себя ждать. Темпы развития науки в XX столетии были уже не те, что в прошлые века. Всего через двадцать с небольшим ют после открытия радиоактивности произошли события, которые вызвали на страницах научных журналов ставшее старомодным и покрывшееся уже пылью времени слово *«алхимия»*.

Впрочем, трудно усмотреть что-либо алхимическое в приборе, который был сконструирован в 1919 году знаменитым английским физиком Резерфордом. В этом приборе с помощью

увеличительной трубы наблюдали радиоактивные свойства немногих известных к тому времени радиоактивных элементов. Радиоактивное излучение обнаруживалось по возникновению вспышек на экране из сернистого цинка. Дело в том, что при соударении частицы, вылетающей из ядра радиоактивного элемента, с кристаллами сернистого цинка наблюдается небольшая вспышка, которую можно заметить в увеличительное стекло. Радиоактивные препараты помещались на штативе, в самом центре прибора.

Итак, все весьма просто, и ничего достойного удивления нет. Не было причин для удивления и тогда, когда Резерфорд обнаружил, что вспышки на экране прекращаются, если между радиоактивным элементом и экраном поставить тонкую металлическую или слюдяную пластинку. Ясно, что радиоактивные лучи не могут проникнуть через преграду.

Трудно сказать, что побудило Резерфорда в одном из опытов заполнить камеру водородом. И вот тут-то стали наблюдаться совершенно удивительные вещи. Несмотря на то что между источником радиоактивного излучения и экраном стояла металлическая преграда, вспышки на экране появлялись точно так же, как будто бы перегородки не было. Впрочем, вспышки прекращались тотчас же, как только выпускали водород.

Объяснение этому явлению было найдено не сразу. Как это часто бывает, вначале в голову приходили самые невероятные идеи, и, как водится, разгадка была удивительно проста и вместе с тем многозначительна.

Естественные радиоактивные элементы (в данном случае это был полоний) испускают так называемые альфа-лучи: ядра атомов гелия. Гелий имеет атомный вес 4, следовательно, его атомы вчетверо тяжелее атомов водорода, атомный вес которого равен 1. Альфа-частицы, сталкиваясь с ядрами атомов водорода — протонами, — передают им свою энергию. А так как масса протонов мала в сравнении с массой альфа-частиц, то они приобретают большую скорость, которая позволяет им проходить через преграду.

Вот почему водород делает металлическую пластинку как бы проницаемой для излучения. Просто? Очень просто! Однако самое интересное было впереди.

Когда камеру заполнили другим газом — азотом, то вспышки на экране стали появляться точно так же, как если бы в приборе был водород. Это было уже совсем непонятно. Ведь ядра атомов азота много тяжелее, чем альфа-частицы (в 3,5 раза), и если перегородка непроницаема для гелия, го тем более она должна задерживать азот.

Но почему же все-таки появляются вспышки на экране? Как проходят радиоактивные частицы через экран, который может пропускать в лучшем случае только ядра водорода? Может быть, к азоту случайно примешан водород? В камеру был впущен азот, тщательно очищенный от каких-либо посторонних примесей и, особенно, от водорода. Однако вспышки на экране появлялись с прежней регулярностью.

Оставалось предположить только одно: очевидно, водород каким-либо образом образуется в камере из азота под действием радиоактивного излучения. Поначалу эта мысль показалась дикой. Но последовали опыты, убедительно доказывающие, что предположение было совершенно правильным. Да, действительно, из азота в камере образовывался водород!

Так была реализована первая ядерная реакция, увидев которую добропорядочный химик середины прошлого столетия долго и недоуменно пожимал бы плечами и так бы ушел, ничего не поняв. Вот она, эта реакция:

$$N + He = O + H.$$

В самом деле, здесь все правильно. Заряд ядра атома азота равен семи, альфа-частицы (ядро атома гелия) — двум. Сумма равна девяти. Легко подсчитать, что сумма ядер атомов справа тоже равна девяти: водорода — один, кислорода — восемь.

Это была первая из многих сотен известных нам теперь ядерных реакций, реакция, в которой один элемент превращается в другой, а это, как известно, является предметом самой настоящей алхимии. Вот и вся история возникновения термина «луч света», который стоит в заголовке главы.

Нам пришлось бы сильно отклониться в сторону от цели рассказа, если бы мы стали подробно разбирать все способы, которыми располагает сейчас наука, чтобы превращать одни элементы в другие.

Тут надо только указать, что все эти способы основаны на «обстреле» ядер атомов элементов, которые подвергаются превращению, «снарядами» — ядерными частицами — протонами, нейтронами, альфа-частицами.

И вот эта новая отрасль науки, получившая название ядерной химии, дала возможность искусственно изготовить те элементы, которые химики никак не могли найти в природе.

Химики снимают вопросительные знаки

Периодический закон великого русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева позволил химикам определить свойства элементов с порядковыми номерами 43, 61, 85 и 87 так, как будто бы они неоднократно имели дело с ними и с их соединениями. Но все же это не давало права снимать в этих клетках вопросительные знаки. Это мог сделать только тот, кто получил хотя бы сотую, ну, пусть даже тысячную или стотысячную долю грамма какого-либо из этих элементов. Но даже таких количеств никому добыть не удалось. Теперь мы знаем, что все попытки выделить загадочные элементы из минералов или горных пород были обречены на неудачу, поскольку ни один из них не содержится в земной коре в сколь-нибудь ощутимых количествах.

Часто казалось, что удача близка, что неизвестный элемент получен. Часто исследователь, выделив соединение, которое, на его взгляд, было достаточно необычно, приписывал это соединение новому элементу. Тогда он поспешно брался за перо и сочинял на имя редактора одного из химических журналов письмо, в котором просил «возможно быстрее опубликовать сообщение об открытии нового элемента». И редакторы, конечно, публиковали, потому что каждому лестно, чтобы именно в его журнале появилось сообщение о таком выдающемся научном достижении. Так и химическую литературу того времени проникали десятки наименовании «новых» элементов. Но сообщения о всех этих «мазуриях», «иллиниях», «флоренциях» и «молдавиях» с неизбежностью опровергались химиками, которые брались за проверку данных о «новом» элементе.

Мало-помалу проблема «четырех клеток» перестала поражать своей загадочностью. Ведь всякая необычность, если она продолжительна, становится привычной. Более того, в кругах ученых-химиков начали считать неприличным разговоры об этих клетках. Рассуждения о не открытых еще элементах стали котироваться наряду с изобретениями «вечного двигателя».

И вот внезапно среди этого затишья взрывом бомбы прозвучало известие: «крепость четырех» пала! Впрочем, с внешней стороны все было как нельзя более скромным. В 1937 году появилась краткая деловая заметка в «Докладах итальянской Академии наук» о том, что итальянские ученые Сегре и Перье искусственным путем получили элемент с порядковым номером 43. Заметка состояла из каких-нибудь ста слов, добрая четверть которых приходилась на неопределенные наречия «возможно», «вероятно», «быть может» и тому подобные. Но все-таки

сообщение о новом элементе было бесспорно!

А газеты… Газеты писали в те дни совсем о другом: о конкурсе четырех Тарзанов, о предстоящем турне божественного певца Джильи, о том, что ожидается извержение Везувия, — о чем угодно, но только не о выдающемся открытии своих соотечественников.

Новый элемент был получен при бомбардировке молибдена — элемента, имеющего порядковый номер 42, — атомами водорода. Порядковый номер водорода 1. Сумма порядковых номеров «мишени» и «снаряда» дает как раз порядковый номер 43 — элемент технеций. Так был назван первый из представителей таинственной четверки.

Название «технеций» было дано этому элементу не случайно. Открыватели его воспользовались тем, что слово «техникос» по-гречески значит «искусственный», подчеркнув тем самым происхождение элемента.

Стоит ли указывать, что ожидаемые свойства технеция полностью совпали с теми, которые были обнаружены экспериментально? Правда, вначале были получены такие количества этого элемента, на которые не отреагировала бы стрелка даже самых чувствительных из описанных известных нам весов.

После того как была пробита брешь в так называемой «загадке четырех», дальнейшие исследования пошли увереннее. Спустя год после того как был получен технеций, химики всего земного шара выскоблили из своих рабочих таблиц Периодической системы еще один вопросительный знак и вписали туда символ Pm — прометий, элемент с порядковым номером 61.

Прометий был получен таким же путем, как и технеций. Если вы посмотрите на Периодическую систему Менделеева, то нетрудно догадаться, каким именно образом это было сделано. Ну конечно же, элемент с порядковым номером 60 — неодим — обстреливался атомами водорода.

Элемент с номером 61 получил название «прометий» в честь мифического бога Прометея, который похитил с неба огонь, чтобы передать его людям. Как известно, за это Зевс придумал для него страшную кару: к прикованному Прометею каждый день прилетал огромный орел и терзал его печень. Этим названием ученые, получившие прометий, хотели подчеркнуть драматический и трудный путь, который привел исследователей от вопросительного знака к символу химического элемента.

Мы еще будем иметь случай на страницах этой книги подробно остановиться на свойствах металлов, принадлежащих к

удивительному семейству редкоземельных элементов, к которому относится и прометий. Здесь же надо только отметить, что в полном согласии с положением в Периодической системе прометий по своим свойствам оказался очень похожим на других представителей этого семейства.

Далее наступила очередь элемента под номером 87. Тут следует сказать, что вопросительный знак в этой клетке особенно занимал химиков: очень уж сильно интересовало их, какими окажутся химические свойства элемента 87. Посмотрим на таблицу Менделеева. Вот она, клетка 87, в первой группе, в том самом вертикальном ряду, в котором находятся элементы литий, натрий, калий, рубидий и цезий. Я намеренно перечислил их все подряд. Дело в том, что химическая активность этих элементов сильно увеличивается от лития к цезию. Из воды эти металлы вытесняют водород, образуя щелочи. Вот почему они получили название щелочных.

Щелочные металлы — самые активные среди всех других металлов Периодической системы. А цезий — самый активный из них. Литий реагирует с водой довольно спокойно, но если же в воду бросить цезий, то реакция протекает подобно взрыву.

Неизвестный элемент 87, находясь, согласно таблице Менделеева, под цезием, должен быть еще активнее, чем этот металл.

Вот почему так важно было отыскать этот элемент: было очень интересно, подтвердятся ли предположения или нет.

Совершенно неожиданно этот элемент был найден в 1939 году в продуктах распада радиоактивного элемента урана. Когда были изучены первые свойства этого элемента, названного францием, стало понятно, почему 87-й так упорно не давался в руки исследователям. Во-первых, франций, как и все элементы с порядковыми номерами, больше 83, является радиоактивным. Однако он сильно отличается от своих радиоактивных «собратьев» тем, что очень быстро распадается. Период полураспада его (т. е. время, за которое распадается половина данного количества элемента) составляет всего двадцать две минуты. Вот что это значит. Пусть мы имеем в данную минуту грамм франция. Через 22 минуты от грамма останется всего половина. Через час — одна восьмая. К исходу четвертого часа от этого грамма останется невидимая глазом крупинка в два десятитысячных грамма, а еще спустя час от грамма франция останется, как писали в старинных романах, «одно приятное воспоминание».

Но все же основная причина, по которой 87-й так долго не давался в руки исследователей, была не в малом периоде

полураспада. Будь у исследователей в руках один грамм этого элемента, они успели бы, пожалуй, за два часа в достаточной степени ознакомиться со свойствами франция. Однако вся беда в том, что, для того чтобы добыть этот грамм, пришлось бы переработать — вдумайтесь в эту цифру! — пришлось бы переработать два с половиной миллиарда тонн природного урана.

Стоп, — скажет внимательный читатель, — ведь это значит, что содержание франция в природном уране составляет $4 \cdot 10^{-16}$ грамма на один грамм урана. Каким же образом удалось определить такое количество франция, которое и назвать-то трудно? Число 10^{-16} не имеет своего названия— не придумали еще! 10^{-6} — это одна миллионная, 10^{-9}— одна миллиардная, а 10^{-16} так и называется «десять в степени минус шестнадцать». В предыдущем разделе о таких ничтожных количествах разговор не шел. Какими методами пользовались химики для выделения этих в полном смысле слова невесомых количеств?

Об этом будет идти речь в последующих разделах. Здесь же, чтобы закончить разговор о франции, надо сказать, что, хотя никто и не выделял его в более или менее весомых количествах, все же нам известно о нем достаточно много. Франций действительно оказался самым активным из всех известных нам металлов. Он исключительно хорошо проводит электрический ток и. подобно ртути, при комнатной температуре находится в жидком состоянии.

О практическом применении этого элемента говорить еще преждевременно. Правда, уже известно, что если человеку, больному саркомой, ввести в организм соль франция то весь этот элемент собирается в опухоли. Поскольку франций радиоактивен и его излучение оказывает разрушающее действие на опухоль, можно думать, что это свойство франция найдет применение в медицине.

Вот, пожалуй, и все об элементе 87-м — франции, единственном из загадочной четверки, который был обнаружен в природе, а не был получен искусственно.

Последним, и, надо сказать, очень неохотно, снял с себя маску элемент 85. В 1940 году в этой клетке вместо знака вопроса появился символ At — астатин. Астатин тоже был получен «алхимически» — путем искусственного превращения элементов. Для этого атомы висмута обстреливали ядрами гелия. Арифметика для нас уже ясна: порядковый номер висмута 83, гелия 2. Вот 41 выходит уравнение, на первый взгляд, странное: висмут + гелий = …астатин.

Астатин — последний элемент семейства галогенов. «Старые» члены этого семейства — фтор, хлор, бром и иод — изучены

очень хорошо. Но тем интереснее было узнать, каковы будут свойства «новорожденного». Как известно, галогены относятся к типичным неметаллам. Только у йода слегка проявляются металлические свойства· характерный для металлов блеск, способность проводить ток и образовывать соли — азотнокислые, солянокислые и т. п.

Астатин — уже типичный металл. О свойствах этого металла известно многое: и какие степени окисления он имеет в водных растворах, и какой состав имеют соли астатина, и даже то, что он хорошо растворяется в хлороформе. Неизвестно только одно: какой цвет имеет этот элемент. Почему? Очень просто: еще никто не смог получить астатин в таких количествах, чтобы можно было судить о цвете. Ведь для того чтобы заметить окраску, надо иметь весомые количества вещества. А вот их-то тут как раз и не было.

Небезынтересно будет отметить, что первые исследования химических свойств астатина проводились с растворами, концентрация которых по этому элементу была равна 10^{-13} молярности, иными словами, в одном литре раствора находилось две стомиллиардных грамма.

Так завершилась история великой «войны» с вопросительными знаками в Периодической системе Д. И. Менделеева. Это была полная драматизма борьба, какой является каждое по-настоящему научное исследование, борьба за овладение тем, что раньше считалось проявлением особых, не ведомых никому «сил природы», борьба, которая позволила слову «алхимия» стать научным понятием сегодняшнего дня.

Теперь, казалось бы, в Периодической системе загадок нет и химики могут вздохнуть спокойно. Но разве может быть спокойной настоящая наука? Пусть в Периодической системе загадок нет, но они могут быть и даже, наверное, есть за ее пределами! И поиски продолжаются. .

92? А почему бы не больше?

Среди элементов Периодической системы много есть в высшей степени примечательных. Один выделяется своей способностью вступать в реакции; другой, напротив, мог бы похвалиться, что никакие силы не заставят его соединиться с другими элементами; третий знаменит тем, что плавится только при очень высокой температуре, да и то с превеликим трудом; четвертый примечателен тем, что его очень трудно перевести из газообразного состояния в жидкое. Словом, много есть химических элементов в таблице, которые чем-нибудь да смогли бы похвастаться. Но среди них есть один, который безусловно стоит над всеми. Это уран. Нет на земле элемента, который имел бы больший атомный вес, чем уран. Вот почему много лет уран по праву замыкал Периодическую систему элементов.

То, что уран должен стоять последним, стало привычным для химиков. Ученые обращали внимание на неоткрытые элементы, которые находились в середине таблицы: между водородом и ураном. Ну, а уран — ему так уж и повелось быть последним. Так мы привыкаем к печке в нашей комнате или к шкафу и даже не представляем себе, что они могут стоять в каком-то другом месте.

Но вот нашелся среди ученых «возмутитель спокойствия», который громко спросил: «Позвольте, почему, собственно, Периодическая система должна кончаться 92-м номером? Почему не может быть 93-го элемента, 94-го и так далее?»

«Действительно! — удивились многие. — Почему бы не быть девяносто третьему элементу? Почему бы не заняться его поисками?»

Созрели эти идеи к началу 30-х годов. И вот тут-то началось. «Золотые» и «алмазные» лихорадки, трепавшие в разные времена мир, ничто по сравнению с теми страстями, которые разгорелись вокруг проблемы «трансурановых элементов» — так прозвали элементы, которые могли стоять за ураном.

Возможно, произошло это потому, что если в существовании элементов с порядковыми номерами 43, 61, 85 и 87 никто не сомневался, то открытие хотя бы одного трансуранового элемента представляло для науки принципиальный интерес.

А возможно, слишком тесно стало пытливым исследователям в узких рамках четырех «не разоблаченных» еще к тому времени клеток Периодической системы и они стали сначала осторожно, а потом все более настойчиво рваться за ее пределы.

Очевидно, так ведется всюду: что находится за какой-то границей — будь то полюс недоступности, Луна или

таинственные химические элементы, манит особенно остро. Вот почему не открытые еще серединные элементы искали настойчиво, но спокойно. Ошибались, вежливо поправляли друг друга, добродушно журили, снисходительно похваливали, не зло посмеивались. Элементы же за «граничной чертой» — трансурановые элементы — искали неистово. Ругались, спорили, кричали — если только можно кричать на страницах журналов, — ниспровергали, возносили, уничтожали…

Каждый год научный мир сотрясался одним большим и добрым полудесятком «малых» открытий, которым не слишком сразу доверяли, элемента девяносто третьего.

Тут достаточно вспомнить только одну из таких сенсаций. Знаменитый итальянский физик Энрико Ферми высказал предположение, что, возможно (возможно!), в одном из его экспериментов образовался 93-й элемент.

Ферми не имел в виду ничего определенного, но его сообщение было истолковано падкой до сенсаций прессой совсем по-иному. Одна из наиболее зарвавшихся газеток выдумала и описала прием во дворце, на котором сам Ферми торжественно преподнес королеве маленький флакончик с девяносто третьим элементом.

Достаточно просмотреть комплект какого-нибудь научно-популярного журнала, скажем, «Наука и жизнь» за 30-е годы, чтобы увидеть, как регулярно два-три раза в год появлялись сообщения о новом элементе под номером 93. И с такой же, ставшей скоро уже привычной неизбежностью эти сообщения опровергались.

Скоро стало ясно, что элементы, имеющие атомный номер больше чем 92, в земной коре находиться не могут. Объяснение этому было простое и, как мы увидим дальше, совершенно правильное. Мы уже отмечали, что все элементы Периодической системы, начиная с элемента 84— полония, являются радиоактивными. Иными словами, они неустойчивы и с течением времени распадаются, превращаясь в элементы с меньшим порядковым номером; те распадаются, в свою очередь… И так до тех пор, пока не образуются стабильные химические элементы, например свинец. И стало ясным, что элементы, которые должны следовать за ураном, весьма вероятно, находились в земной коре много-много миллионов лет назад, а может быть, и миллиардов — кто знает?! Но с течением времени эти элементы распались, исчезли. И на земле их нет. Нет — и всё!

Но миновали те времена, когда химики довольствовались лишь тем, что предоставила в их распоряжение природа. И ученые пошли на штурм проблемы трансурановых элементов.

Однако старое оружие оказалось недостаточно мощным для того, чтобы разбить стены крепости, за которой пряталась разгадка этой проблемы.

Возможно, что разгадка проблемы трансурановых элементов еще долго скрывалась за частоколом из вопросительных знаков, если бы не было применено новое, более эффективное оружие.

«Брешь» была пробита нейтронами. То обстоятельство, что нейтрон не обладает никаким зарядом, делает его весьма пригодным для целей ядерной бомбардировки. Заряженные частицы — ядра атомов водорода или гелия — выполняют эту функцию много хуже. Положительно заряженные частицы при подходе к атому испытывают сильно отталкивающее действие со стороны одноименно заряженного ядра.

С помощью нейтронов были получены искусственным путем ядра почти всех химических элементов. Но 93-й по-прежнему не давался в руки исследователям.

Когда уран подвергали бомбардировке нейтронами, намереваясь искусственным путем получить обитателя 93-й клетки Периодической системы, то вначале исследователи обнаружили, что при этом ядра атомов урана распадаются на «осколки». Такими осколками являются ядра атомов элементов, находящихся в середине таблицы Менделеева: барий, лантан и некоторые другие. Многие из них обладают искусственной радиоактивностью. Характеристики этих искусственных радиоактивных элементов были неучены весьма подробно: стали известны и их атомные веса, и периоды полураспада.

«Осколков» было открыто очень много, поэтому каждый новый искусственный элемент, который удавалось получить таким путем, уже не вызывал особенного энтузиазма у исследователей. Не особенно удивился и американский исследователь Макмиллан, когда в 1940 году обнаружил в продуктах деления урана какой-то радиоактивный изотоп с периодом полураспада два-три дня. Более внимательное изучение показало, что излучение принадлежит какому-то элементу, который не походил ни на один из тех, которые обычно образовывались при делении урана. Этот элемент был выделен и оказался… элементом 93. Это было так неожиданно, что даже не вызвало того эффекта, на который могло претендовать подобное открытие.

Впрочем, подробности стали известны много позже: уже после того как отзвучали первые испытательные взрывы атомных бомб, после того как над Хиросимой вырос зловещий гриб атомного взрыва. При чем тут атомная бомба?

Вот при чем — проблема зауранових элементов оказалась

тесно связанной с проблемой выделения атомной энергии. Если бы не это обстоятельство, возможно, еще и сегодня мы не знали бы ничего об элементах, порядковый номер которых больше девяноста двух.

93-й был наречен нептунием. Причина этого очевидна: как в солнечной системе за планетой Уран следует Нептун, так и в Периодической системе за элементом ураном следует нептуний.

Более тщательные исследования процесса образования нептуния из урана показали, что этот процесс протекает следующим образом. При соударении с нейтронами часть ядер разлетается, а часть, напротив, захватывает нейтроны. При этом образуется разновидность, или, как говорят, изотоп урана с атомным весом 239. Этот изотоп, однако, очень неустойчив и за короткое время претерпевает радиоактивный распад. Распад этот заключается в том, что ядро каждого атома этого изотопа испускает один электрон.

Что же при этом происходит? Электрон имеет заряд минус 1. Заряд ядра атома урана 92. Если от 92 отнять минус 1, то нетрудно подсчитать, что получается 93. Так образуется элемент 93 — нептуний.

Пока я объяснял, как из урана образуется нептуний, читатель, очевидно, уже догадался, как должны были назвать 94-й элемент? Правильно!

Конечно, плутонием. Ведь за планетой Нептун в солнечной системе следует планета Плутон.

Как известно, планета Нептун была «открыта на кончике пера»: существование ее было предсказано теоретически.

Продолжая эту параллель, можно сказать, что планета Плутон была открыта самопишущим пером, так как к выводу о ее существовании пришли из чисто теоретических соображений, на основании отклонения орбиты движения Нептуна от рассчитанной.

Плутоний, подобно его планетному тезке, был также открыт сначала теоретически.

Изучение свойств нептуния показало, что он испускает бета-лучи, или, иными словами, каждый его атом «выбрасывает» один электрон. Мы уже знаем, что получается, когда ядро атома какого-либо элемента испускает электрон. В этом случае возникает ядро элемента, который в Периодической системе стоит на одну клетку позади. Вот почему, когда было открыто бета-излучение нептуния, сразу возникла мысль, что вслед за 93-м элементом должен образовываться элемент 94-й. Последовало несколько кропотливых экспериментов, и в 1941 году элемент 94-й появился на свет.

Как известно, цепная реакция является одним из основных условий освобождения энергии атомного ядра при делении тяжелых элементов. Остальные два вещества, способные развивать цепную реакцию, изотопы урана с атомными весами 233 и 235, получаются с гораздо большим трудом, чем плутоний.

Теперь плутоний получают в большом количестве. Производство плутония осуществляется в атомных реакторах, где наряду с распадом урана идет процесс образования 94-го элемента. По истечении некоторого времени в уране, которым заправлен котел, образуется значительное количество плутония. А разделить эти элементы — задача сравнительна несложная.

Получение нептуния и плутония явилось торжеством физики и химии, так сказать, вершиной современной алхимии. Однако, как показало ближайшее будущее, — все же не самой высокой ее вершиной. Не прошло и трех лет со времени открытия плутония, как химикам пришлось дорисовывать новые клетки в Периодической системе. «Виновниками торжества» оказались элементы с порядковыми номерами 95 и 96. Произошло это в 1944 году.

Обстановка опять-таки была «артиллерийской»: полигоном являлся циклотрон — прибор для разгона элементарных частиц; мишенью служил уран; снарядами «работали» альфа-частицы — ядра гелия. При попадании альфа-частицы в ядро урана образовывается ядро с атомным номером 94 (2 + 92; вот, кстати, еще один метод получения плутония). Ядра плутония спустя некоторое время выбрасывали бета-частичку — электрон, и, таким образом, возникал элемент с номером 95. По месту своего рождения этот элемент получил название америция.

Подобным же образом был получен элемент 96. Для синтеза этого элемента альфа-частицами обстреливали плутоний. В результате очень сложного опыта и очень простой арифметики (94 + 2 = 96) был выделен элементе порядковым номером 96. Элемент был назван кюрием — в честь знаменитых исследователей радиоактивности Марии Кюри-Склодовской и Пьера Кюри.

Известно, что сравнение науки с грандиозным зданием не ново. Но, рассказывая о том, как были получены искусственные зауарновые элементы, нельзя удержаться от этого сравнения. «Фундаментом» здания послужил уран. На этом фундаменте был сооружен «первый этаж» — элемент плутоний. Плутоний послужил основанием для следующего «этажа» — америция.

Словом, как каждый законченный новый этаж дома дает возможность приступить к строительству очередного этажа, так и каждый полученный зауарновый элемент давал возможность

приступить к получению очередного нового элемента.

Гак, америций был использован для синтеза 97-го элемента. Для этого америций обстреливали в циклотроне альфа-частицами. В результате того же несложного соотношения (95 + 2) был получен элемент 97. Он был назван берклием — по имени города Беркли, где был впервые получен этот элемент.

Для синтеза элемента 98 воспользовались кюрием. Его также обстреливали альфа-частицами, в результате чего был выделен элемент, названный калифорнием. Это название появилось в Периодической системе в 1950 году. Дальше поток открытий несколько замедлил скорость своего течения…

Следующие «новоселы» Периодической системы — элементы 99 и 100 — родились не в научных лабораториях. Появлению их на свет не предшествовали споры или мучительные размышления, которые обычно предваряют каждое научное открытие.

В 1952 году американцы проводили испытания термоядерного оружия. Операция по подготовке и проведению этого секретного взрыва была названа весьма безобидным и даже несколько фамильярным именем «Майк». Через полчаса после взрыва в грибовидное облако, возникшее над местом испытаний, были запущены автоматические ракеты, которые отбирали пробы воздуха, пыли и других твердых частиц. В бумажных фильтрах, на которых осели пылеобразные продукты взрыва, и были обнаружены элементы 99 и 100.

Результаты этого опыта были опубликованы лишь три года спустя. И тогда же в Периодической системе появились две очередные клетки с названиями новых элементов: эйнштейний и фермий. Оба названия были даны в честь известных физиков Альберта Эйнштейна и Энрико Ферми.

К 1955 году эти элементы были уже синтезированы и в лабораторных опытах.

В мае 1954 года группа американских исследователей под руководством Сиборга сообщила о получении элемента с порядковым номером 101. 101-й элемент был назван ими менделевием, как пишут авторы, «в признание ведущей роли великого русского химика Дмитрия Менделеева, который первый использовал Периодическую систему для предсказания свойств еще не открытых элементов — принцип, явившийся ключом к открытию последних семи трансурановых элементов».

Если бы я писал эту книгу несколькими месяцами раньше, то при разговоре об элементе 102-м мне пришлось бы многократно употреблять слово «вероятно». Дело в том, что исследователи долгое время колебались, получен ли 102-й в действительности

или нет. Почему? О, это весьма долгая история. И, чтобы как следует понять, как ученым достается то или иное открытие, нам придется сделать небольшой перерыв в изложении истории появления новых клеток в таблице Менделеева и заняться рассмотрением других, не менее интересных вещей.

Манипуляторы с невидимым

Этот заголовок имеет в виду не фокусников, хотя последние часто называются манипуляторами и, судя по искусству народного артиста республики Кио, действительно работают с невидимым. Нет, здесь речь пойдет о манипуляторах не в переносном, а в буквальном смысле этого слова (редкий пример, когда слово в переносном значении возникло и стало употребляться раньше, чем в прямом!). Невидимое же здесь невидимо не из-за ловкости рук ученых, а по причине крайне малых размеров.

Когда я рассказывал об истории возникновения новых клеток Периодической системы, то намеренно ни разу не употребил слово «сколько». Могло возникнуть впечатление, что количества, из которых выделяли зауарановые элементы, не играют никакой роли. На самом же деле эти количества являются, пожалуй, самым главным из всех тех многих факторов, которые обусловливают возможность и легкость (а правильнее говоря, трудность) выделения того или иного элемента.

Однако будем рассказывать по порядку. Взгляните на рисунок. На нем изображено все наличное в 1944 году количество элемента америция. Справа — это отнюдь не телеграфный столб, а острие иглы, частокол внизу — это миллиметровая шкала; вся же фотография снята под микроскопом. Сколько же может быть америция, спросите вы? Это известно точно — одна стотысячная грамма.

Да, тут уже идет речь о количествах гораздо меньших, чем те, о которых мы рассказывали в разделе об опытах незадачливого профессора Литте. Да ведь и время настало другое! А тридцать лет в XX веке для химии что-нибудь да значат!

Возьмем одну из статей о каком-либо трансурановом элементе, которые теперь десятками публикуются в химических журналах. Внешне ничего удивительного нет. Обычные, традиционные химические фразы и выражения: «соединение получали сливанием двух растворов», «состав определяли титрованием», «соль растворяли в дистиллированной воде» и тому подобное, что всегда встречается в любой работе, имеющей даже отдаленное отношение к химии.

Однако внимательный разбор такой статьи сразу повергает непривычного читателя в изумление. Оказывается, бюретки здесь отмеривают не миллилитры, как в обычных химических лабораториях, а одну стотысячную миллилитра. Самые большие из тех химических стаканов, с которыми манипулировали авторы

этой статьи, имели диаметр 1 миллиметр. На весах взвешивались количества веществ в одну тысячную долю грамма, причем взвешивание проводилось с точностью до одной стотысячной грамма.

Может быть, кое-кому эти числа с большим количеством нулей впереди покажутся маловыразительными. Тогда призовем на помощь сравнения.

Одна стотысячная доля миллилитра… По сравнению с объемом жидкости в стакане воды это то же, что один метр в сравнении с половиной экватора. И этот объем измеряют с точностью до одного процента! Иными словами, отмеряют объемы жидкостей еще в сто раз меньше. Это то же, что измерить окружность экватора с точностью до двух миллиметров. Представьте себе, что кто-либо заявил что-нибудь вроде: «От города Обояни до Сан-Франциско четырнадцать тысяч сто шестьдесят восемь километров девятьсот сорок четыре метра пятнадцать сантиметров и три миллиметра». Вы бы тотчас же ответили этому гражданину, чтобы он оставил шутки. Но когда химик пишет аналогичные вещи, мы хотя и удивляемся, но принимаем эти вещи как должное. Вот это и есть осязаемые чудеса атомного века!

Теперь представим себе, как протекает работа с подобными количествами веществ. Стаканы и пробирки имеют такие размеры, что их удобнее захватывать не пальцами, а особыми пинцетами. Разные приспособления, вроде воронок для фильтрования, палочек для перемешивания растворов и прочей обычной химической утвари, имеют такой размер, что подковы, которые изготовил для блохи лесковский Левша, в сравнении с ним поражали бы своими громадными размерами. Жидкости, находящиеся в этих сосудах, тщательно переливают из одного сосуда в другой, следя, чтобы не пролилось ни капли. Впрочем, о какой тут капле может идти речь? Ведь капля в тысячи раз больше всего наличного объема раствора!

Ну, а весы, как выглядят они? Коромысло этих весов сделано из чистого кварца толщиной в человеческий волос. Большинство частей этих весов вообще не видно невооруженным глазом, настолько тонки и невесомы эти детали. Такие весы уже в комнате не поставишь. Даже на самой прочной и неподвижной подставке они будут подвержены большим колебаниям. Пройдет по улице рядом с домом, где находится лаборатория, человек — и весы уже соврут на несколько знаков; проедет по улице грузовик — и на весах целая свистопляска!

Такие весы стоят в глубоком подвале. Приближаются к ним с осторожностью канатоходца. В этом помещении не положено

громко разговаривать, нельзя сильно размахивать руками, производить резкие движения. Даже чихать здесь пришлось бы в специальную отдушину. И, уж конечно, упаси вас боже сказать при этом «будьте здоровы!».

А прибегают ко всем этим ухищрениям только для того, чтобы можно было взвешивать с точностью до 0,000001 грамма. Вот что такое шестой десятичный знак и чего он стоит исследователям!

Исследователям трансурановых элементов приходилось работать с чрезвычайно малыми количествами веществ. Дело в том, что искусственные элементы возникают при обстреле элементарными частицами соответствующих мишеней в таких количествах, которые могут быть уловлены только при работе вот такими методами.

Теперь, когда пишут или говорят о многих из зауарановых элементов, то счет ведут не на килограммы и не на граммы. Даже миллиграммы и те являются слишком большой единицей измерения веса.

Для трансурановых элементов пришлось выдумать новую единицу измерения: микрограммы — одна миллионная доля грамма, величина в тысячу раз меньшая, чем миллиграмм.

Так вот, нептуний впервые был выделен в количестве десяти микрограммов, плутоний — двадцати микрограммов. Долю полученного впервые америция мы уже видели на рисунке. В таких же количествах был вначале добыт и кюрий.

Для элементов же берклия и калифорния и микрограммы — слишком большая единица измерения. Они были выделены в индивидуальном состоянии в десятых, а то и сотых долях микрограмма — это соответственно десятимиллионные и стомиллионные доли грамма!

Однако эти обстоятельства не смогли явиться помехой подробному исследованию химических и физических свойств зауарановых элементов. Более того, интерес, проявленный к зауарановым элементам, был настолько велик, что теперь мы о свойствах этих элементов знаем больше, чем об иных, обычных.

Сейчас передо мной лежит книга, в которой сведены результаты исследований только лишь шести (от нептуния до калифорния) зауарановых элементов. Это толстый фолиант, в котором около тысячи страниц и не меньше двух килограммов весу.

Микрохимия — так назвали этот раздел химии, позволяющий исследовать свойства ничтожных количеств веществ. Это название является до некоторой степени и буквальным: ведь за всеми превращениями, происходящими в пробирках, химику

необходимо наблюдать в микроскоп.

Как видим, одна из основных трудностей, возникшая при работе с зауарановыми элементами, — чрезвычайно ничтожное количество их — была успешно преодолена.

Но не так просто быть «алхимиком» в наши дни! Если бы необходимость прибегать к методам микрохимии составляла единственную сложность работы с зауарановыми элементами, то это было бы еще полбеды или даже, выражаясь точнее (а химия — наука точная!), четверть беды. Ну, получили один раз 10 микрограмм, другой раз еще столько же, третий раз, четвертый, пятый… Глядишь — и есть уже одна десятитысячная грамма. А там и с десятую грамма набрать можно. А десятая грамма — это уже величина!

Сложность была в другом. Уже упоминалось, что все элементы Периодической системы, начиная с элемента полония, являются радиоактивными. И вот оказалось, что радиоактивность трансурановых элементов необычайно велика.

Один микрограмм плутония испускает в минуту сто сорок тысяч альфа-частиц. Это очень большое число. Если какую-либо соль плутония растворить в воде, то в ней сейчас же начинает образовываться перекись водорода: альфа-частицы, выделяющиеся при распаде плутония, вызывают в воде сложные химические процессы.

Радиоактивность америция — больше в десятки раз. Один микрограмм этого элемента испускает в минуту семьдесят миллионов альфа-частичек. Однако и это ничто в сравнении с радиоактивными свойствами соседа америция — элемента кюрия. Кюрий испускает за такое же время десять миллиардов альфа-частиц на один микрограмм.

А эти десять миллиардов означают вот что. При растворении в воде даже ничтожного количества соли кюрия раствор начинает интенсивно разогреваться. И вскоре закипает. Стоит этот стакан с раствором соли кюрия под стеклянным колпаком, а из стакана бурно валит пар, хотя поблизости нет никакого источника тепла. Таким источником является сам кюрий, или, вернее, испускаемые им радиоактивные частицы. Благодаря этому обстоятельству никогда не удастся изготовить более или менее заметный кусок металлического кюрия, так как такой кусок немедленно бы разлетелся из-за саморазогрева.

Сильная радиоактивность зауарановых элементов неприятна еще и тем, что радиоактивное излучение чрезвычайно вредно влияет на человеческий организм. Не один из тех, кто работал с сильно-радиоактивными веществами, не соблюдая необходимых мер предосторожности, умер от тяжких заболеваний, вызываемых

радиоактивными лучами. Еще сегодня в японских городах Хиросиме и Нагасаки, которые стали объектом атомного нападения в 1945 году, продолжают умирать люди, подвергшиеся во время взрыва атомной бомбы облучению.

Все эти обстоятельства заставляют исследователей, работающих с зауарановыми элементами, прибегать к особым мерам предосторожности.

Обычно радиоактивные препараты зауарановых элементов помещают за пластмассовым экраном. Этим самым исследователь защищает лицо и тело от действия радиоактивных лучей. На руки надевают специальные перчатки, которые также в значительной степени задерживают излучение.

Однако такие меры помогают, когда количество радиоактивного вещества небольшое либо интенсивность излучения данного элемента невелика. Если приходится работать с большими количествами, то «удлиняют» руки с помощью манипуляторов. Это разнообразные инструменты: пинцеты, щипцы, захваты, которые укреплены на длинной ручке. Таким образом, исследователь может держаться от радиоактивного вещества на почтительном расстоянии.

Но если имеешь дело с такими излучателями, как америций или кюрий, то и ручные манипуляторы не спасают. Тогда приходится конструировать дистанционные манипуляторы. Один из таких манипуляторов можно видеть на Выставке достижений народного хозяйства СССР. Я полагаю, что ловкости рук такого манипулятора мог бы позавидовать любой фокусник. Хотя, как видно из рисунка, каждая рука манипулятора имеет всего по два «пальца», эти руки способны выполнять самые тонкие операции. За манипулятор, который стоит на выставке, несколько раз в день садится оператор, и столпившиеся вокруг зрители с изумлением наблюдают, как металлические руки раскрывают коробок спичек, вынимают одну спичку, зажигают ее и преподносят прикурить кому-либо из посетителей выставки. Тот сначала испуганно отстраняется, а затем с довольным видом прикуривает. После этого «рука» аккуратно бросает в урну обгоревшую спичку.

Впрочем, при работе с зауарановыми элементами приходится выполнять более сложные манипуляции, чем зажигание спичек. Ведь количеств, скажем, америция или кюрия, которые собирается исследовать химик, намного меньше спички по своим размерам да и по весу. Однако здесь уже дело только в опыте и мастерстве исследователя.

Как видим, и второе препятствие было успешно преодолено учеными. Но существует, оказывается, еще одно обстоятельство, которое затрудняет исследования зауарановых элементов гораздо

больше, чем те, о которых я уже рассказал.

Что прежде было основным в проблеме изучения свойств нового элемента? Выделить более или менее значительные количества соединений этого элемента. Мы уже знаем, сколь малым научились довольствоваться химики при определении абсолютной величины этих «более или менее значительных количеств».

Для зауарановых элементов проблема выделения стоит на втором плане. Прежде чем *выделить,* надо эти элементы *получить.* Только для первых зауарановых элементов процесс получения прошел сравнительно легко. Но чем дальше углублялись химики в «лес» зауарановых элементов, тем с меньшими количествами «дров» приходилось им сталкиваться.

Здесь вступает в игру величина, называемая *периодом полураспада.* Мы уже имели случай прибегать к этому понятию: это то время, за которое распадается половина атомов данного радиоактивного элемента. Первые зауарановые элементы довольно устойчивы. Так, период полураспада нептуния исчисляется миллионами лет, кюрия — десятками тысяч лет. Самая долгоживущая разновидность плутония имеет период полураспада даже в десятки миллионов лет. Но дальше эта величина быстро уменьшается. Берклий «умирает» наполовину за семь тысяч лет, калифорний — всего за четыреста. А потом счет идет уже на дни. Для эйнштейния эта величина составляет приблизительно 300 дней, для фермия — 20 часов, для менделевия — минуты.

Дни — это куда ни шло. Но минуты?.. Ведь операции получения и последующего выделения элемента довольно продолжительны. А тут надо за доли минуты выделить элемент, сконцентрировать его и изучить важнейшие химические и физические свойства. Ну конечно, в «минутном» элементе это сделать невозможно, с какой бы лихорадочной скоростью ни работал экспериментатор.

«Ну что ж, нельзя так нельзя, — скажете вы, — выше себя, как говорят, не подскочишь».

Да, раньше химики, пожалуй, так и поступали. Столкнувшись с подобным обстоятельством, например неустойчивостью какого-либо интересного для них соединения, они подавляли вздох разочарования и пеняли на природу.

Но когда идет речь о такой проблеме, как зауарановые элементы, то разве могут современные химики «пенять на бога»? Вздохи сожаления, что греха таить, были, и в немалых количествах. Но это был тот самый случай, когда лирика в расчет не принимается.

Когда появилось первое сообщение об элементе 101 — менделевии, то почти все химики, с которыми я обсуждал в те дни статью об этом элементе, единодушно пришли к выводу, что в одном месте там вкралась опечатка. Да и как же иначе могло быть, если в статье значилось буквально следующее: элемент 101 был идентифицирован (определен, узнан) в количестве 17 атомов. Все единодушно сошлись на мысли, что рассеянный наборщик пропустил после цифры 17 десять в какой-либо степени. Там должно было быть написано, скажем, $17 \cdot 10^8$, ну, самое меньшее $17 \cdot 10^6$ атомов, хотя, по правде говоря, последнюю величину по причине малости тоже представить себе трудно. Почему? Да хотя бы потому, что в одном кубическом сантиметре воздуха содержится в три миллиарда раз атомов больше, чем $17 \cdot 10^6$. Итак, даже количество вещества в семнадцать миллионов атомов представить себе нелегко, но просто семнадцать атомов — это вначале даже не укладывалось в сознании. Но тем не менее в сообщении об элементе 101 все было правильно, и мы напрасно укоряли наборщика.

Найти такое ничтожное количество менделевия в материале мишени, которая была подвергнута обстрелу с целью получения 101-го элемента, помогли радиоактивные свойства этого элемента. Альфа-частицы, испускаемые разными радиоактивными элементами, различаются друг от друга по своей энергии. Так, начальная скорость снаряда, выпущенного из дальнобойного орудия, отличается от скорости пули, вылетевшей из малокалиберной винтовки. Определяя величину энергии альфа-частицы, можно с уверенностью сказать, какому радиоактивному элементу обязана эта частица своим происхождением.

А зафиксировать распад даже одного отдельного атома в настоящее время не составляет труда. Сейчас сконструированы приборы, которые необычайно чувствительны к явлениям радиоактивного распада Эти приборы позволяют определить, какая радиоактивная частица вылетела при распаде атома, какова ее энергия и заряд. Именно с помощью таких приборов было обнаружено, что в мишени из эйнштейния при обстреле альфа-частицами возникают атомы 101-го элемента.

Приступая к получению элемента с порядковым номером 102, ученые уже знали, что период полураспада его будет исчисляться немногими минутами.

Вначале было решено попытаться получить 102-й элемент, обстреливая кюрий ядрами углерода (96 + 6). Для этого в США были получены значительные количества кюрия. Мишень — тонкий слой кюрия, нанесенный на алюминиевую пластинку, — была изготовлена в Англии. Затем пластинку с величайшими

предосторожностями повезли в Швецию, где, наконец, в Нобелевском институте ее подвергнули обстрелу углеродом.

102-й и не пытались даже выделить из мишени. Было установлено, что мишень после обстрела «выбросила» несколько альфа-частиц неизвестной дотоле энергии — и этого оказалось достаточным для того, чтобы объявить о создании очередного нового элемента. Элемент был назван «нобелием» — по имени института, где проводился обстрел кюриевой мишени.

Однако с этим элементом дело обстояло не так гладко, как с предыдущими зауарановыми элементами. Когда в Соединенных Штатах были повторены опыты по получению 102-го, то результаты шведских экспериментаторов не подтвердились. Символ No, появившийся было в клетке 102, сначала заколебался, а затем и вовсе исчез. Вопрос остался: открытым.

Ну, а совсем недавно появился еще один «новосел» Периодической системы: обитаемой стала клетка № 103. Проживает в ней элемент лоуренсий. Так же как и в случае двух-трех его предшественников, о свойствах лоуренсия можно догадываться, но изучать многие из них попросту невозможно. Дело в том, что до сих пор получено вряд ли больше десятка атомов лоуренсия, потому что период полураспада его составляет одну-две секунды.

В 1957 году получением 102-го начали заниматься советские химики и физики под руководством Г. Н. Флерова. Пять лет продолжались поиски. И вот получено сообщение: в лаборатории Г. Н. Флерова в Объединенном институте ядерных исследований получено более семисот атомов 102-го элемента. Масса его 256. Время жизни — 8 секунд. Еще один трансурановый элемент вписан в Периодическую систему.

В разных странах, на разных континентах ученые объединены одной мыслью, одним желанием раздвинуть границы Периодической системы как можно дальше, раздвинуть границы нашего познания.

Вы читаете сейчас эти строчки, а в лаборатории люди в белых халатах, склонившись над многочисленными приборами, внимательно следят за показаниями стрелок. Один из них что-то негромко говорит остальным и, сокрушенно покачав головой, вписывает несколько строчек в большую тетрадь, на обложке которой крупно написано: 104-й. И затем, обращаясь к своим сотрудникам, говорит: «Попробуем выбрать другие условия…»

А быть может, именно в эту минуту им, этим исследователям неведомого, повезло, может быть, стрелки показали то, что нужно, и 104-й получен.

Может быть! И если не в эту минуту, то завтра, через месяц.

А получен он будет. Наверняка!

Новое семейство

Могу биться об заклад, что я сейчас задам вопрос, правильный ответ на который не даст, пожалуй, ни один из юных читателей. Вопрос как будто бы простой: какой химический элемент в настоящее время изучен лучше всех? Железо? Нет. Хлор? Нет! Кислород? Нет!!! Натрий? Тоже нет!

Оказывается, по химическим свойствам в настоящее время лучше всего исследованным элементом является… плутоний.

Что, неожиданный ответ? Я сам поразился, когда впервые об этом узнал. Действительно, достойного удивления в этом обстоятельстве немало. Элемент, который нам известен всего двадцать лет, изучен лучше, чем, скажем, железо, с которым люди познакомились еще на заре развития человечества. Да, да, плутоний, которого после его открытия вряд ли получили больше одной тонны, изучен лучше, чем, предположим, кремний, запасы которого на поверхности земли исчисляются астрономическим числом тонн.

Проблема получения плутония была в свое время так остра, что ею занимались сотни лабораторий в разных странах. Занимались не просто интенсивно, а прямо-таки лихорадочно. Для того чтобы выделять плутоний — и по возможности полнее — из продуктов распада содержимого атомных реакторов, нужно было всесторонне изучить его свойства и свойства многочисленных его соединений. Над одними и теми же проблемами работали разные лаборатории. После того как многие из этих исследований были опубликованы, оказалось, что многие ученые приходили к одним и тем же выводам принципиально разными путями.

Все это и явилось причиной того, что не осталось буквально ни одной области химии плутония, куда бы не заглянул пытливый и острый взгляд химика-исследователя.

Хотя сам факт получения искусственных элементов сам по себе являлся поразительным, все-таки когда были изучены свойства первых зауарановых элементов, то результаты оказались в высшей степени неожиданными. Выяснилось, что все эти элементы очень похожи по своим химическим свойствам. Так, все они в водных растворах могут давать соли с валентностью металла +3.

С другой стороны, многие зауарановые элементы во многом напоминают уран. Пришлось бы очень долго перечислять однообразные факты чрезвычайной схожести этих элементов. Но здесь читатель может поверить автору на слово.

Вопрос здесь может быть другой: что же в этой схожести могло удивить химиков? Похожи так похожи. Однако утверждение еще не ответ на вопрос.

Пусть читатель закроет рукой или листком бумаги группу элементов на Периодической системе, которая обозначена как семейство актиноидов (почему так назвали семейство зауарановых элементов, мы поясним чуть позже). Теперь таблица Менделеева выглядит точно так, как в конце 40-х годов, когда об искусственных зауарановых элементах ничего известно не было. Представим себе химика того времени, пользующегося этой таблицей. Что мог сказать ученый о свойствах еще не существовавшего тогда элемента 93? Он мог бы рассуждать приблизительно так: «Если элемент 93 будет открыт или получен искусственно, то его квартира — клетка 93 — окажется в седьмой группе Периодической системы, под элементом рением. Значит, по свойствам 93-й должен походить на рений, как рений, в свою очередь, походит на технеций и марганец».

С такой же уверенностью этот химик мог предсказать, что 94-й элемент будет похож на осмий, потому что именно под осмием должна была находиться незаселенная в те годы еще квартира № 94 в доме «Группа № 8» по улице «Периодической системы».

Однако ничего подобного не оказалось. Зауарановые элементы ничуть не походили на своих предполагаемых аналогов, зато были похожи друг на друга если не как близнецы, то как родные братья, наверное. Оказалось, что эти элементы и являются родными братьями не только по рождению, а так сказать, и по духовному или, вернее, химическому единству.

Читатель, наверное, уже обращал внимание на то, что в Периодической системе элементов после элемента с порядковым номером 56 следует клетка, в которой стоят номера 57–71. 15 элементов в одной клетке! Или, говоря вернее, 15 клеток в одной. В чем тут дело? Какова причина этого, на первый взгляд, странного явления?

Известно, что внешняя электронная оболочка атома каждого элемента Периодической системы отличается от внешней электронной оболочки атомов соседних элементов. Так, например, литий имеет один электрон на внешней электронной оболочке, бериллий — два, бор — три и т. д. Многим также должно быть известно и то, что именно это число электронов на внешней электронной оболочке определяет химические свойства элемента. Вот элемент лантан — первый член выделенного нами семейства, которое носит название лантаноидов, то есть лантаноподобных. У лантана на внешней электронной оболочке имеется три электрона. Поэтому лантан и является

трехвалентным. Мы должны были бы предполагать, что следующий за лантаном элемент — церий — должен иметь на внешней электронной оболочке четыре электрона. Однако на внешней электронной оболочке церия, как и у лантана, три электрона. Куда же девается лишний электрон? Оказывается, он заполняет одну из внутренних электронных оболочек. То же самое наблюдается и у следующих лантаноидов. Все они: и празеодим, и неодим, и прометий, и другие, все — по элементу 71 — имеют во внешнем электронном слое три электрона, а заполняются у них внутренние электронные оболочки. Вот почему эти 15 элементов чрезвычайно похожи друг на друга по своим химическим да и физическим свойствам.

Точно такая же картина наблюдается в случае элементов, следующих в Периодической системе за актинием. У тория — соседа актиния — тоже заполняется не внешняя электронная оболочка, а одна из внутренних. То же самое у элементов протактиния, урана и всех полученных до настоящего времени заурановых элементов. Поэтому заурановые элементы вместе с ураном, протактинием и актинием, подобно лантаноидам, выделяются в отдельное семейство *актиноидов*. Таким образом, в Периодической системе появилась еще одна «многокомнатная квартира»— клетка, которая вмещает в себя номера с 89-го по 103-й.

Сейчас уже с полной уверенностью можно предсказать, что семейство актиноидов будет завершаться 103-м элементом. И только 104-й элемент будет стоять в IV группе Периодической системы.

Можно даже заключить, что электронная оболочка этого еще не полученного элемента будет подобна электронной оболочке гафния. Впрочем, для такого заключения не надо быть особенным провидцем — для этого достаточно иметь перед глазами Периодическую систему элементов.

В лабораториях природы

Когда были изучены свойства первых из полученных зауарановых элементов, стало понятным, почему оказались безрезультатными поиски этих элементов в природе. Периоды полураспада даже самых долгоживущих из них столь невелики в сравнении с временем существования нашей планеты, что за это время они успели полностью распасться.

Впрочем, если бы все положения ученые брали на веру, то вряд ли появились бы многие из тех замечательных открытий, которыми так богато наше время. Сразу возникли вопросы. Во-первых, нельзя ли обнаружить зауарановые элементы вне Земли, в атмосфере звезд, поскольку нам известна характеристика спектра этих элементов? И вопрос второй: не могут ли некоторые из зауарановых элементов образовываться в природе в настоящее время, пусть даже в самых небольших количествах?

Лучше будет разобрать все эти вопросы по порядку. Итак, нельзя ли попытаться обнаружить зауарановые элементы где-нибудь во Вселенной?

Тут надо еще раз напомнить, что спектроскопические методы исследования, с помощью которых элемент гелий был открыт сначала на Солнце, а потом уже на Земле, обладают чрезвычайной чувствительностью, Но все же спектроскопия не позволила обнаружить во Вселенной присутствия хотя бы небольших следов плутония или других зауарановых элементов. Не дали желаемых результатов и другие методы исследования.

Ответ на заданный вопрос пришел оттуда, откуда его меньше всего ждали. Его помогли найти… историки. Химия не раз оказывала большие и малые услуги историкам и особенно археологам: то надо было определить состав какого-нибудь древнейшего сплава, то с помощью анализа чернил установить дату рождения рукописного документа. Но чтобы историки помогали химикам — такое, пожалуй, встретилось впервые. Но об этом следует рассказать подробнее, тем более что начинать придется издалека.

… Начинать придется с 4 июля 1054 года. В этот день или, вернее, в эту ночь астроном пекинской обсерватории Большого Дракона Ма Туан-лин, как обычно, вышел на центральную площадку наблюдать небо. Он некоторое время внимательно смотрел на звезды и, убедившись, что расположение светил в точности совпадает с предсказанным, приготовился записать свои вычисления в толстую тетрадь, которую вел уже много лет. Но кисточка так и не дошла до сосуда с тушью: рука повисла в

воздухе. Вдруг астроном заметил — почти над головой — какую-то довольно яркую звезду. Еще вчера ее не было на этом месте. Не писалось о ней ничего и в тех старинных книгах, содержание которых Ма Туан-лин знал хорошо, будучи настоящим ученым. На следующую ночь звезда появилась на небе задолго до того, как солнце уступило свое время ночи. На улицах толпились сотни людей и громко обсуждали это невиданное зрелище.

В своих записках Ма Туан-лин назвал эту звезду Гостьей. Китайский астроном очень точно выбрал название для новой звезды. Гостья с каждым днем разгоралась все ярче. Через два месяца ее яркость была больше, чем яркость Луны. Обладающие острым зрением дети различали Гостью даже днем, при ярких лучах Солнца. Сейчас нетрудно подсчитать, что если это было именно так — а сомневаться в достоверности записок Ма Туан-лина нет никаких оснований, — то новая звезда имела такую яркость свечения, как шестьсот миллионов наших солнц.

Однако пришелица сияла на небе всего около двух месяцев, а потом яркость ее свечения стала быстро уменьшаться. Через полгода она уже ничем не выделялась среди других звезд. А еще через год на том же участке, где была Гостья, снова зияла, как и за два года до того, чернота неба.

Когда историки разыскали записи средневекового китайского ученого, то меньше всего заинтересовали они. . астрономов. Дело в том, что Ма Туан-лин описал явление, которое очень хорошо известно современной астрономии и носит название «сверхновых звезд». Образование новых звезд сравнительно часто можно наблюдать на небосклоне. Правда, исключительно яркие звезды, какой была «сверхновая-1054», наблюдаются очень редко. Но при изучении неба с помощью телескопа открытие «сверхновой» — дело довольно обычное. Когда в 1948 году на то место небосклона, где была Гостья, описанная Ма Туан-лином, навели радиотелескоп, то установили, что оттуда идет интенсивный поток радиоволн. Это явление говорило об очень многом…

Я подозреваю, что нетерпеливый читатель прервет меня вопросом: «Почему на протяжении целой страницы здесь идет речь о ком угодно: об астрономах, историках, радиоастрономах и ни разу не упоминаются химики?» Вопрос законный. Химики сейчас появятся, появятся обязательно, хотя бы потому, что мощный поток радиоволн, идущий с того места, которое занимала «сверхновая-1054», прежде всего касается именно их.

Известно, что источниками радиоволн и космических лучей, идущих к Земле из мирового пространства, являются вспышки новых звезд. Эти вспышки, как считают теперь, являются следствием образования и распада элементов.

Источником энергии Солнца является реакция превращения водорода в гелий. Но наше светило — сравнительно молодая звезда. Во Вселенной же существуют звезды постарше — те, у которых значительная часть водорода «выгорела», превратилась в гелий. Что же, такое светило затухает? Оказывается, что нет. Ядра атома гелия, сливаясь, образуют атомы углерода.

Есть основания считать, что чем старше звезда, тем более тяжелые элементы возникают на ней. Но очевидно, что такое укрупнение не может идти бесконечно. На каком же элементе обрывается этот процесс увеличения порядкового номера элементов на звездах?

Все предположения сводятся к тому, что таким элементом станет… калифорний. Дело в том, что новые звезды обладают общей особенностью: период полузатухания их яркости (т. е. время, за которое яркость свечения уменьшается вдвое) составляет приблизительно 55 дней. А это почти точно соответствует периоду полураспада калифорния (с атомным весом 254).

Так свершались судьбы развития элементов во Вселенной. Непрерывное увеличение порядкового номера и атомного веса элементов, образующих звезду, приводит к повышению плотности и уменьшению яркости свечения звезды.

Затем, когда в массе звезды накопится много калифорния, происходит ядерный взрыв — и калифорний, а также другие тяжелые элементы распадаются, образуя более легкие элементы.

Итак, можно считать, что по крайней мере один из трансурановых элементов образуется во Вселенной при процессах, происходящих в звездах. Ну, а если образуется калифорний, то должны быть и кюрий, и плутоний, которые возникают из калифорния при процессах радиоактивного распада.

Теперь второй вопрос:

могут ли в настоящее время образовываться в природе зауарановые элементы?

После того как зауарановые элементы были получены в лабораториях, поиски их на поверхности земли, в горных породах все же не прекратились. Поиски эти диктовались следующими соображениями. Во-первых, розыски можно было теперь производить не вслепую, так как свойства, например, нептуния, не говоря уже о плутонии, были изучены очень хорошо. А во-вторых, надо было узнать, не могут ли где-нибудь на Земле возникнуть такие условия, при которых из урана образовывался нептуний или плутоний?

Последнее предположение кажется абсурдным, а между тем

оно-то и подтвердилось быстрее всего. Уже за несколько лет до открытия плутония стало известно, что некоторая часть атомов урана, вместо того чтобы подвергнуться обычному радиоактивному распаду (испускание альфа-, бета- или гамма-частиц), распадается в буквальном смысле этого слова на две части. При этом не только образуются ядра-осколки, но и испускаются нейтроны. Правда, на один такой распад приходится несколько миллионов распадов обычного типа.

Но тем не менее так бывает всегда. Итак, нейтроны, необходимые для превращения урана в нептуний, а затем в плутоний, берутся из… самого урана.

Кроме того, не исключена возможность, что космические лучи разрушают атомы некоторых элементов, причем опять-таки образуются свободные нейтроны.

Все эти соображения и послужили основой для поисков природного плутония в урановых рудах. Первые опыты дали отрицательный результат. И только после того, как для переработки были взяты килограммы и даже тонны урановой руды, получился вполне определенный ответ: да, плутоний в природном уране есть. Каково же количество того плутония, который содержится в природном уране? Количеством-то назвать его трудно. Отношение веса плутония к весу урановой руды составляет 10^{-14}. Достаточно сказать, что отношение числа учеников в каком-нибудь классе к числу людей на земном шаре имеет порядок 10^{-8} — в миллион раз больший, чем соотношение плутония и урана в урановой руде.

В 1952 году урановая смоляная руда из Бельгийского Конго была подвергнута исследованию на содержание в ней нептуния. Потребовались такие же кропотливые исследования, как и в предыдущем случае, и нептуний был, разумеется, найден. «Разумеется» потому, что промежуточным звеном при образовании плутония из урана является нептуний. Нептуния оказалось в уране даже несколько больше, чем плутония: одна часть на две тысячи миллиардов частей урана.

Конечно, нептуний и плутоний содержатся в урановых рудах в таких количествах, что не приходится говорить всерьез об их выделении. Очень возможно, что другие заурановые элементы тоже присутствуют в исчезающе малых количествах в горных породах. Так, например, есть предположение, что кюрий-247 благодаря своему сравнительно большому периоду полураспада — приблизительно сто миллионов лет — может еще существовать в ничтожных количествах на Земле. При этом он, весьма вероятно, находится вместе с редкоземельными элементами-лантаноидами, так как свойства актиноидов, к

которым принадлежит кюрий, весьма походят на редкоземельные элементы. Правда, уже подсчитано, что коль скоро кюрий сопутствует редкоземельным элементам, то один атом его может приходиться не меньше чем на 10^{15} атомов лантаноидов.

Разумеется, и плутоний и нептуний содержатся в урановых рудах в таких количествах, что не приходится говорить о возможности добывать эти элементы, так сказать, из природных залежей, но факт остается фактом: зауарановые элементы существуют в природе.

Есть ли предел числу элементов

Этот раздел я собирался начать совсем по-другому. Более того, я уже написал его. Но называйте это совпадением или как хотите, но буквально через три дня после того, как была написана эта глава, мне пришлось в течение нескольких часов подробно дискутировать на тему: есть ли предел числу элементов? Я был приглашен на обсуждение новой научно-фантастической повести, написанной одним из наших писателей Обсуждение состоялось в районной детской библиотеке, где собралось много ребят.

Повесть была как повесть. Был профессор (с бородкой), который говорил: «Ну, батенька». Был молодой ученый, кандидат наук (с прядью, упрямо ниспадающей на лоб), ученик профессора. Была молодая ассистентка профессора. Ну, и, конечно, была любовь. Но это между прочим. В центре действия был мальчик Леня, довольно развязный всезнайка, который вопреки желаниям родителей увязался за профессором и его учениками в геологическую экспедицию.

Автор провел экспедицию через лесной пожар, основательно выкупал в холодном болоте, столкнул с неведомым ящером и, наконец, более или менее благополучно привел героев к загадочному озеру в каких-то горах. Озеро было как озеро, только вместо воды оно было «до краев» заполнено неизвестным жидким металлом. И тут-то все началось.

Этот металл был раз в двадцать тяжелее ртути (т. е. плотность его должна была составлять что-то около 260!); он не соединялся ни с одним из известных веществ, при нагревании он совсем не проводил электрический ток, но зато на холоде он был идеальным проводником.

Мальчик Леня, вздумавший искупаться в чудном озере, схватил тяжелую болезнь, чем еще раз доказал читателю, как плохо не слушаться старших.

Дотошный профессор, который, как и полагается книжным профессорам, знал все, сразу определил без помощи каких-либо приборов, что неизвестный металл — это элемент с порядковым номером 150, который неведомо как сохранился на Земле.

В заключении книги был триумфальный полет домой, свадьба и все такое.

Я уже не помню, что говорили выступающие о художественных достоинствах книги, потому что очень скоро разгорелся спор о том, вправе ли был автор предположить существование на Земле 150-го элемента или нет. Когда такой вопрос был задан мне, я уклончиво ответил, что авторы повестей,

особенно научно-фантастических, могут предполагать все, что угодно, но тем не менее необходимо различать фантазию и выдумку. Потребовали объяснить подробнее и сказать точно, сколько еще элементов может быль открыто. На это я ответил приблизительно так.

На примере уже полученных зауарановых элементов очень хорошо заметно, что с увеличением порядкового номера быстро уменьшается период полураспада. Напомним, что если плутонии имеет Период полураспада порядка нескольких десятков миллионов лет, то для 102-го элемента эта величина равна нескольким секундам.

Кроме того, помимо радиоактивного распада — выделения альфа- или бета-частицы, — в случае зауарановых элементов большое значение приобретает эффект самопроизвольного деления ядер. Эффект этот проявляется в том, что ядро элемента, вместо того чтобы испустить альфа- или бета-частицу, распадается на две части. Для естественных радиоактивных элементов период полураспада относительно самопроизвольного деления очень велик. Так, для тория он равен 10^{21} лет (для сравнения: наша планета существует приблизительно $5 \cdot 10^9$ лет). Период вольного полураспада относительно самопроизвольного деления зауарановых элементов значительно меньше. Для фермия эта величина составляет всего 12 часов. Расчеты показывают, однако, что еще для нескольких элементов после элемента 102 период полураспада относительно самопроизвольного деления будет меньше обычного периода полураспада. Поэтому возможность получения элементов 103, 104 и, возможно, 105 — дело вполне реальное.

Возможно ли будет получить элементы с более высокими порядковыми номерами, покажет ближайшее будущее.

Однако неправильно будет сделать вывод, что работа над получением новых, искусственных, элементов близится к концу.

Нет, эта работа только начинается. Почему?

Прежде чем ответить, необходимо задать один вопрос: как построены атомы всех элементов Периодической системы Д. И. Менделеева?

«Смешной вопрос, — скажут многие из читателей. — Каждый знает, что все атомы построены из положительно заряженного ядра, состоящего из протонов и нейтронов, и из вращающихся вокруг ядра отрицательных электронов».

Разумеется, это так. Но разве эта комбинация является исчерпывающей? Представим себе такой атом, в ядре которого положительно заряженные протоны заменены на отрицательные антипротоны, а электроны — на положительные частицы с равной

массой. Такие частицы, кстати, тоже известны. Перед нами атом антиэлемента. Какими свойствами будет обладать такой элемент? Кто возьмется это предсказать?! А ведь теоретически создать такой элемент вполне возможно.

А что будет, если в «обычных» элементах один или несколько электронов заменить на отрицательно заряженные частицы, более тяжелые, чем электрон? Такие частицы тоже известны. А какими свойствами будет обладать элемент, в ядре которого часть протонов заменена на другие положительно заряженные частицы?

Как видим, здесь одних вопросов с полстраницы. И все это вопросы не досужие. За последние годы они стали предметом теоретических и даже экспериментальных исследований. Однако сделано пока слишком мало.

Итак, наука, которую мы с достаточным на то основанием назвали алхимией XX века, только начинает свое славное существование. А тем из молодых, кто захочет стать алхимиком (без кавычек!), можно гарантировать работу, полную увлекательных и волнующих поисков, какой является любое истинно научное исследование.

БОЛЬШОЕ В МАЛОМ

Что общего?

Начну с двух историй.

История первая

На визитных карточках Юджина О'Винстерна было вытиснено золотыми буквами: «негоциант» — торговец. Портовые лоцманы, отлично осведомленные о деятельности О'Винстерна и плохо разбирающиеся в правилах хорошего тона, называли его «спекулянт». Это звучало несколько грубо, но несомненно было справедливее. Та же справедливость требует отметить, что Юджин О'Винстерн не обладал особым умом. Однако недостаток последнего он компенсировал нахальством. Нахальство — это было, пожалуй, единственное, чем располагал в 1937 году лондонский «негоциант», так как последняя операция по закупке на корню канадской пшеницы стоила ему всего его состояния.

Вот почему О'Винстерн решился везти в Индию партию станков, рассчитывая продажей или, вернее, перепродажей их поправить свои дела. В станках Юджин смыслил мало, но еще меньше ведал он об Индии. А если говорить правду, то, кроме того, что оттуда вывозят бананы и малярию, «негоциант» ничего не знал о той громадной стране, куда он плыл вместе со своим грузом.

Было бы излишне описывать первые впечатления от знакомства Юджина О'Винстерна с Индией. Ведь мы не затем повели о нем речь, чтобы познакомить читателя с описанием бомбейских баров и контор, а в других местах наш герой не бывал. И поэтому мы сразу расскажем о том, что увидел он на товарной площадке железнодорожного вокзала города Дели.

Зрелище было удручающим. Когда небольшая бригада грузчиков выгрузила первый станок из вагонов, О'Винстерн сразу заметил неладное. изо всех щелей деревянной обшивки струилась какая-то бурая жижа. Встревоженный «негоциант» велел немедленно разбить упаковочный ящик, и его взору явилась картина, которую нельзя назвать иначе чем жалкой.

Станки представляли груду ржавчины. Ржавчина образовала на металлических частях такой густой налет, что они, казалось, все были покрыты бурым снегом.

Юджин О'Винстерн кинулся к станку, схватился за какую-то

деталь, но она тотчас же отвалилась и с мягким стуком упала на землю. Когда были вскрыты остальные двадцать ящиков, то выяснилось, что станки в них сохранились ненамного лучше.

Кого было винить? Беспросветное невежество О'Винстерна, который не знал той истины, что металлические вещи перед далекой транспортировкой надо густо смазывать маслом? Или ругать начальника департамента железнодорожных перевозок Индии, по милости которого станки два месяца валялись в бомбейском порту, ожидая предстоящей отправки в Дели? Сетовать на жаркий и влажный, до густоты, воздух Индии?

Нет, незадачливый «негоциант» винил более непосредственного участника его «негоции» — бога. Бормоча по адресу всевышнего такие проклятия, от которых хватил бы удар даже самого хладнокровного миссионера, Юджин целые дни бесцельно болтался по городу, ожидая, пока из резиденции губернатора придет ответ на телеграмму с просьбой дать пособие для возвращения в Лондон.

Вот тут-то во время одной из прогулок О'Винстерн обратил внимание на знаменитую делийскую колонну. Громадный обелиск возвышался посредине большой площади и почти всегда был окружен верующими. От нечего делать Юджин протиснулся сквозь толпу непрерывно бормотавших индусов и рассеянно посмотрел на колонну. Основание ее было до матового блеска отполировано губами верующих, а верхняя часть была гладкой, как обеденный стол. О'Винстерн рассеянно притронулся пальцем к колонне… затем постучал по ней ладонью… потом кулаком. Колонна была сделана из железа. Да, никакого сомнения быть не может — из железа! Но, черт возьми, каким образом оно здесь сохраняется?

Не иначе, как эти индусы чего-то подмешали в сплав. Но что?

На последний вопрос лондонский «негоциант» безуспешно пытался раздобыть ответ в течение всей последующей недели. Но когда был получен скромный перевод и билет, по которому О'Винстерн должен был через четыре дня отплыть в Лондон, Юджин решился.

Той же ночью он достал где-то напильник, трясясь от страха, отпилил от основания колонны небольшой кусочек железа и спрятал его глубоко на дно своего саквояжа. Уж в Лондоне ему помогут разобраться, из чего сделана колонна и что такое подмешано туда, что не дает железу ржаветь!

Через полтора месяца О'Винстерн направил добытый им образец железа для анализа в одну из лондонских лабораторий. К образцу было приложено письмо, которое Юджин написал, сам дивясь собственной хитрости. В письме он просил произвести

анализ прилагаемого образца железа, которое он думает употребить для изготовления своего сейфа.

Когда вместо анализа О'Винстерн получил приглашение явиться и лабораторию, он, естественно, насторожился: конечно, они хотят выпытать у него, где он раздобыл этот замечательный сплав; но его не проведешь, он будет молчать.

Однако вместо всего этого шеф лаборатории, тщедушный и очкастый профессор Голл, тысячу раз извинившись перед ошарашенным такой невиданной любезностью О'Винстерном, спросил его, где уважаемый мистер раздобыл образец такого феноменально чистого железа. Профессор добавил, что он занимается анализом вот уже тридцать лет, но впервые встречается с образцом, в котором нет никаких примесей: чистое железо, аб-со-лютно чистое.

Потерпев крах в своих надеждах организовать выработку сплавов, которые бы противостояли влажному климату Индии, Юджин занялся скупкой и перепродажей контрабанды, за каковое занятие и был в скором времени посажен в тюрьму.

А профессор Голл доложил на одном из заседаний совета института о проведенном им анализе образца железа неизвестного происхождения, в котором ему не удалось найти примесей, потому что железо было чистое, аб-со-лютно чистое!

История вторая

В 20-х годах в монастыре Киево-Печерской лавры объявился некий отец Иона. Этот священник, носивший библейское имя и священную бороду, скоро стал знаменит на весь Киев и на много верст в окрестностях. Как гласили объявления, вывешенные на воротах монастыря и написанные мирским шрифтом, отец Иона ежедневно пользовал верующих от «скорби во внутренностях» с помощью освященной им лично воды.

«Медицинские» способности привлекали в монастырь десятки больных, и скоро в приемные часы отца Ионы монастырский двор стал напоминать известный киевский базар Бессарабку в часы разгара торговли. Поднятая святыми отцами шумиха стала привлекать в монастырь и тех больных, которые до того не имели с религией ничего общего.

Все это заставило заинтересоваться новоявленным целителем редакцию комсомольской газеты. Вот почему в один апрельский день среди «болящих», толпившихся перед обителью отца Ионы,

был сотрудник газеты Николай Карлышев. Николай пришел сюда без определенной цели. Он решил вначале просто присмотреться к больным, а заодно и к чудотворцу. Но, когда к больным вышел знаменитый целитель и широко благословил собравшихся, у Николая мелькнула мысль: а не притвориться ли ему больным! Решено — сделано. Согнувшись под прямым углом и не очень натурально охая, Карлышев стал в конце длинного хвоста очереди. Подойдя к отцу Ионе, Николай, подобно другим, приложился или, вернее, сделал вид, что приложился, к руке чудотворца, принял благословение вместе с пузырьком святой воды и поспешно стал в очередь снова. В тот день Карлышев раздобыл три пузырька воды. На следующий день четыре, а в последующие дни еще пять. Итого — 12 небольших бутылочек с «целебным средством», всего около литра.

Свою добычу Николай доставил профессору Бобрышеву — известному киевскому специалисту по внутренним болезням. Профессор посмотрел «святую» воду на цвет, попробовал на язык, а затем категорически заявил, что святая вода взята из Днепра и ничего дополнительного, кроме «божьей благодати», не содержит.

Все это заняло у профессора полчаса времени.

В течение последующих трех часов Карлышев уговаривал профессора испробовать воду на одном из его больных. Бобрышев решительно отказывался, ссылаясь на то, что питье днепровской воды заведомо не может оказать никакого эффекта. Николай же, который хотел утверждения полной бесполезности святой воды подкрепить авторитетным свидетельством Бобрышева, продолжал настаивать. По истечении третьего часа Бобрышев, нетерпеливо поглядывая на часы, дал свое согласие.

Через три недели Карлышев снова сидел в клинике у Бобрышева. Статья была уже написана. Заключения профессора Бобрышева занимали в ней немалое место. Бобрышеву киевляне должны были поверить, а в характере заключений профессора сомневаться не приходилось.

Профессор принял Николая в своем кабинете, но в отличие от прошлого раза он не сидел в кресле, а быстро ходил по комнате, почему-то избегая смотреть в глаза Николаю.

Виноватым голосом он сообщил корреспонденту, что испытал предоставленный ему на экспертизу «препарат», то есть «воду», — поправился он — на двух больных с застарелым гастритом и одном язвеннике и во всех случаях констатировал не выздоровление, нет, но несомненное улучшение. Вот так. После этого профессор виновато развел руками, пробормотал что-то о необъяснимых загадках природы и оставил Николая наедине с собственным недоумением.

Вторичный химический анализ, на этот раз тщательный и придирчивый, подтвердил тождество с днепровской водой.

Правда, бактериологический анализ выявил почти полное отсутствие микробов в воде, но это могло объясняться кипячением.

Подкупленный монастырский служка оказался весьма словоохотливым. Он рассказал, что таскает в келью отца Ионы ежедневно девять ведер воды. Отец Иона сливает эту воду в большую кадку, па дне которой лежит «мно-о-го» серебряных монет. Большего служка просто не знал.

Так тогда и не появилась разоблачающая статья против «святого целителя». Эта статья была написана позже, три года спустя. Правда, к тому времени новоявленный святой был арестован органами милиции за крупную спекуляцию иностранной валютой, но все же статья была нужна. Помогли же появлению статьи некоторые обстоятельства, о которых будет идти речь в следующих разделах.

Вот эти две истории, которые я считал нужным рассказать читателю. Предвижу вполне законный вопрос: во-первых, почему рассказы о незадачливом спекулянте и мнимом святом появляются на страницах книги, посвященной проблемам современной химии; и во-вторых, если даже предположить, что эти рассказы автор ввел просто для развлечения читателя, то что общего имеют они друг с другом. Я полагаю, что в дальнейших разделах этой главы читатель найдет ответ на все эти вопросы.

Чистое вещество… это не просто

В предыдущей главе «Алхимия XX века» читатель познакомился с тем, как химики настойчиво и неутомимо охотились за исчезающе малыми количествами вещества. Терпеливо, атом к атому, микрограмм к микрограмму, собирали они мельчайшие дозы химических элементов. Эти охотники знали, что микрограммы выделенных ими новых элементов принесут химии «тонны» ценнейших сведений.

В этом очерке речь тоже пойдет о химиках-«охотниках». И так же, как и там, здесь будет описана охота за малыми и сверхмалыми количествами веществ.

Однако «охотники» в этой главе будут заниматься поисками малых количеств веществ не с целью собрать их, а, наоборот, изгнать из исследуемого вещества.

Впрочем, если рассказывать по порядку, то, очевидно, следовало бы начать с химика Кольрауша. Это был видный немецкий исследователь, который работал в последней четверти прошлого века. Несколько лет своей научной деятельности Кольрауш посвятил… беспрестанной перегонке из сосуда в сосуд одной и той же порции воды.

К исходу четвертого года директор института, где работал Кольрауш, уже не решался заводить гостей в лабораторию исследователя. Директор знал, что на каждую группу посетителей всегда найдется присяжный остряк, который вспомнит Лапутянскую Академию наук.

Однако знатоки «Путешествий Гулливера» напрасно изощрялись в остроумии. В отличие от ученых летающего острова Лапуты, Кольрауш преследовал истинно научные цели: он пытался как можно лучше очистить воду.

Я не сомневаюсь, что у читателя сразу же возник вопрос: неужели очистка воды является таким сложным делом, что ему надо посвящать годы жизни? Не напутал ли здесь автор? Нет, не напутал.

Возьмем самый обычный пример из повседневной деятельности химика-исследователя. Вот я пришел сегодня в лабораторию и мне нужно получить чистую воду. Нет, далеко не такой степени чистоты, какой добивался и в конце концов добился Кольрауш! Мне нужна просто чистая вода, чтобы приготовить раствор какого-либо вещества, по возможности свободная от примесей.

Из водопроводного крана я наливаю в колбу воду, которая, с моей точки зрения, с точки зрения химика, является не просто

грязной, а представляет собой какое-то болото. В этой воде содержится большое число различных солей натрия, калия, кальция, магния. В то время как вода протекала по трубам, в нее перешло большое количество железа, неощутимое, конечно, для того, кто пьет эту воду, но вполне достаточное, чтобы я мог обнаружить его присутствие с помощью роданида калия. На водоочистительной станции воду хлорировали, и при этом в ней осталось такое количество хлора, что прибавление к ней нескольких капель азотнокислого серебра делает ее похожей по внешнему виду на молоко — это выпало хлористое серебро. Кроме этого, в воде находится значительное, опять-таки с точки зрения химика, количество органических веществ: мельчайшие частицы растений, бактерий и проч. В этой водопроводной воде растворено не большое, а прямо-таки громадное количество воздуха — каждый, кто даст постоять стакану холодной водопроводной воды в комнате, может убедиться в этом: на стенках стакана появится большое количество пузырьков воздуха.

А углекислый газ, растворенный в воде! А сернистый газ, который пусть и в очень незначительном количестве поглотили воды реки, когда они протекали мимо любого завода, отапливающегося углем? А фенол, который где-то в верховьях выпустил в воду нерадивый директор химического завода? Словом, можно сказать, что в той водопроводной воде, которую я налил из крана, содержится в ощутимых количествах, помимо водорода и кислорода, еще добрая треть элементов Периодической системы Д. И. Менделеева. Ошибся бы я при этом разве только в сторону преуменьшения. Пусть все эти примеси безвредны для человека, утоляющего жажду, но мне, химику, они мешают. И я приступаю к их удалению.

Сначала я кипячу воду со щелочным раствором перманганата калия. При этом окисляется большинство органических веществ, находящихся в воде. Затем я повторно кипячу воду с подкисленным раствором перманганата. Эта операция должна привести к окончательному разрушению всех органических веществ. После этого воду перегоняют. При перегонке освобождаются от основного количества примесей: от солей металлов, от значительной части воздуха. Полученная так называемая дистиллированная вода далеко еще не чистая. В ней содержится сравнительно много воздуха, остался почти весь углекислый газ. Так как все операции проводились в стеклянной посуде, то вода содержит много едкого натра и кремниевой кислоты, которые перешли в нее из стекла. Словом, до чистой воды еще далеко.

Эту дистиллированную воду я снова кипячу в течение

нескольких часов, чтобы удалить возможно больше газов, в том числе и хлора, а затем переливаю в перегонную колбу. В отличие от предыдущей, эта колба сделана из платины, холодильник, в котором конденсируются пары воды, отлит целиком из олова, приемная колба тоже сделана из платины. Эти металлы почти не растворяются в воде. При перегонке необходимо соблюдать предосторожность, чтобы вода нигде не соприкасалась с воздухом, иначе она снова «натянет» кислород, азот и углекислый газ. Полученная вода называется уже бидистиллатом. Конец! С этой водой мне уже можно работать.

Одно описание процесса очистки воды заняло у читателя, вероятно, несколько минут. Сколько же времени приходится его осуществлять на практике?

Но все-таки я получил не очень чистую воду. Установить это можно легко: достаточно опустить в нее электроды, соединенные с источником электрического тока. Стрелка прибора покажет, что вода проводит электрический ток, хотя она неэлектролит и проводить не должна. Значит, мы не полностью удалили из нее примеси. Электропроводность полученной воды, правда, небольшая и имеет порядок 10^{-6} обратных омов. Кольрауш, который значительно тщательнее очищал воду, смог получить значения электропроводности в сто раз меньше. Это означало, что вода у него была много чище. Однако достаточно было подержать эту воду в течение нескольких минут в открытом сосуде, чтобы электропроводность начала быстро увеличиваться: в воде растворялся углекислый газ воздуха.

То, что я сейчас рассказал о воде, с успехом можно отнести к любому другому веществу. Разница только в том, что в большинстве случаев очистка веществ является еще более длительной и кропотливой операцией, чем получение чистой воды.

Мы помним, что абсолютно чистых веществ в природе нет. В любом соединении всегда присутствуют большие или меньшие количества посторонних веществ. По мере того как усовершенствовались методы химического анализа, химики стали получать все более подробные сведения о том, сколько примесей присутствует в исследуемом веществе и каков их характер. Однако одно дело знать, сколько имеется примесей, а совсем другое — освободиться от этих примесей.

Да и то сказать, что эта последняя операция часто не была нужна. В самом деле, зачем прибегать к хитроумным манипуляциям, тратить много времени, губить ценные химические реактивы — и все это только для того, чтобы иметь возможность сказать, что добытое тобой соединение имеет

чистоту, например, не 99,99, а 99,999. Да стоит ли этого одна тысячная?! Ну, разумеется, нет.

Вот почему никто из химиков пока не стремился получать абсолютно чистые вещества. Но тут как раз наступил момент, когда надо рассказать об одной истории, которую почти все химики приняли как научную сенсацию.

Проблемы возникают так…

Я написал слово «сенсация» и задумался: а правильно ли я перевел те определения, которыми характеризовалось в зарубежной литературе 20-х годов это открытие? Видимо, правильно. Подобно другим сенсациям, это открытие, нашумев, и притом весьма сильно, в научных и околонаучных кругах, потом с непостижимой быстротой забылось и в течение двадцати лет не упоминалось даже в самых фундаментальных руководствах. Почему? Возможно, потому, что слишком уж невероятными показались химикам 20-х годов факты, описанные в нескольких небольших статьях. Репутация солидных научных журналов, где публиковались эти статьи, заставляла относиться к ним с некоторым уважением. Многовековой же опыт физики и химии принуждал к мысли: не мистификация ли эти сообщения? Обдумывая все это, солидные профессора приходили к одному несомненному выводу: абсолютно непонятно. И как это часто бывает, люди предпочли не искать разгадку удивительных явлений, а попросту забыли о них.

Трудно приготовить тщательно очищенное вещество, но еще труднее сохранить его в чистом состоянии. Со всех сторон его подстерегают враги. В него может попасть капля постороннего соединения, пепел из трубки исследователя, маникюрный лак с ногтей ассистентки, залетевшая в окно пыльца цветов и тысяча других самых разнообразных веществ. Особенно трудно сохранить чистые вещества от проникновения примесей из воздуха и влаги, содержащейся в атмосфере. Ведь воздух проникает всюду, от воздуха не спрячешься!

Вот почему, сохраняя очищенные вещества, их запаивают в стеклянные или сделанные из какого-либо другого материала сосуды.

Так поступил однажды и английский химик Бейкер, когда он в 1908 году запаял в стеклянной трубке азотистый ангидрид — жидкость, которая кипит при температуре $+3{,}5^{\circ}$. Правда, на этот раз азотистый ангидрид находится в трубке вместе с пятиокисью фосфора. Дело в том, что при получении азотистого ангидрида экспериментатор случайно примешал к нему некоторое количество воды. Пятиокись же фосфора является одним из самых «жадных» к воде веществ: почти ни одно из известных нам соединений так активно не соединяется с водой, как этот белый порошок.

Во всем, что я сейчас изложил, пока нет ничего удивительного, что могло бы явиться материалом для сенсации.

Пока, как говорится, идет присказка. Сказка будет впереди…

Прошло лет пять. И вот Бейкер вспомнил, что у него в лаборатории хранится трубка с запаянным азотистым ангидридом, который как раз в это время понадобился ему для каких-то экспериментов. В лабораторной практике химики всего мира обычно очищают жидкости перегонкой. Для того чтобы отделить азотистый ангидрид от кусочков пятиокиси фосфора, Бейкер налил жидкость в перегонную колбу и начал ее нагревать.

… В этот день люди, проходившие по Слау-стрит, могли наблюдать, как из подъезда научного института вышел немолодой уже человек, который усиленно спорил о чем-то сам с собой с выражением крайнего недоумения.

Что и говорить, у Бейкера были все основания быть пораженным! Когда началась перегонка азотистого ангидрида, сначала все шло как обычно. Ангидрид налили в охлажденную снаружи льдом колбу: приемник, куда должна была собраться перегоняющаяся жидкость, тоже поместили в лед. После этого Бейкер стал ждать, когда ангидрид, нагреваясь при комнатной температуре, начнет кипеть. Прошло десять минут, двадцать, но перегонка не начиналась. Разговаривая со своим сотрудником, Бейкер машинально взглянул на термометр, который был опущен в жидкость, и остановился на полуслове. Термометр показывал 20°, то есть ровно столько, какова была температура окружающего воздуха. Согласно всем справочникам, азотистый ангидрид должен был уже давно кипеть, но жидкость оставалась недвижимой. Пожав плечами на немой вопрос ассистента, Бейкер начал осторожно подогревать колбу. Никакого эффекта: синяя жидкость оставалась спокойной.

30°… 35°… 40°… Только при 43° началась перегонка. Азотистый ангидрид кипел, вопреки всем справочникам, вопреки здравому смыслу, на 40° выше, чем ему полагалось.

«Может быть, это не то вещество, за которое я его принимаю?» — мелькнула у Бейкера мысль. Немедленно был проведен анализ: чистейший азотистый ангидрид, чистейший, 100 %! Снова повторили перегонку: 43°. Это было невероятно.

За соседним столом ассистент Бейкера, все время оглядываясь на непонятную колбу, лихорадочно приготовлял из азотной кислоты азотистый ангидрид. Вот она, синяя жидкость, по внешнему виду ничем не отличающаяся от своей соседки, стоящей рядом. Какова будет ее температура кипения? Термометр показывал 3,5°. Все правильно. Снова начали перегонять первую жидкость: 43°.

Бейкер приказал запаять обе жидкости, оделся и вышел. Быть в лаборатории лицом к лицу с этой пугающей загадкой он больше

не мог.

Что же так поразило английского химика? Неужели какие-то сорок градусов могли стать причиной столь сильного волнения?

Могли! Дело в том…

Постоянны ли постоянные величины?

… Дело в том, что каждое вещество, так же как и каждое химическое соединение, обладает определенными физическими и химическими свойствами.

Можно брать, например, воду из Индийского океана и из заплесневелого болота, из полярной льдины и из дорожной лужи, но все равно, каким бы ни было ее происхождение, всегда она будет и замерзать при 0°, а кипеть при 100°. Бензол, добытый из продуктов переработки каменного угля, и бензол, полученный синтетически, например из ацетилена, не отличаются друг от друга ни на йоту.

Не знаю, можно ли назвать даже аксиомой настолько очевидное для каждого следующее положение: данному химическому соединению отвечает одна вполне определенная температура кипения, одна температура плавления, одна плотность и т. д. Более того, это правило лежит в основе процессов получения очищенных от примесей веществ. Если хотят, например, получить чистую уксусную кислоту, то удаляют из нее примеси до тех пор, пока ее температура плавления не станет равной 16,6°. Теперь исследователь может быть уверен, что он держит в руках чистый препарат уксусной кислоты. Если химик, перегоняя какое-либо вещество, видит, что при нормальном атмосферном давлении он кипит, скажем, при 110,8°, то он уверенно может сказать, что в колбе у него находится толуол.

И вот теперь аксиома стала теоремой. То, что каждому веществу отвечают определенные свойства, приходилось еще доказывать.

Есть целый ряд веществ, с которыми химикам приходится иметь дело в лабораториях почти каждый день. Для этих веществ температуры кипения и плавления были определены особенно тщательно. Загляните в любой, даже самый краткий справочник, там вы найдете: бензол кипит при 80°, спирт — при 78,4°, бром — при 59°, диэтиловый эфир — при 35°.

Словом, физические константы этих веществ изучены, как говорится, вдоль и поперек. С ними и решил начать Бейкер следующую серию опытов.

Опытов? Над чем? Неужели исследователю стала ясной причина такого невероятного поведения азотистого ангидрида?

Нет, разумеется, причина известной не была, но подозрения возникли. «Виновником» считали воду.

Читатель уже знает, каких трудов стоит химику получить

чистое вещество. Очевидно, что чем выше степень очистки вещества, тем труднее его приготовить. Можно тщательно очистить какое-либо органическое вещество от примесей неорганических веществ. Значительно труднее, но тоже вполне осуществимо очистить это соединение от примеси посторонних органических веществ. Но как уберечься от воздуха и, главное, от паров воды, содержащихся в нем?

Вот почему, приступая к очистке бензола, брома, сероуглерода, спирта и других веществ, Бейкер уже знал, что от воды, от ничтожных следов воды, проникающих в очищенные вещества из воздуха, ему избавиться не удастся.

Итак, основная предпосылка была следующей: все описанные до настоящего времени химические соединения, какими бы чистыми они ни считались, всегда содержат некоторую, пусть самую ничтожную, примесь воды. Задача опыта: получить несколько абсолютно (абсолютно!) чистых веществ. Для этого тщательно очищенные обычным способом жидкости были запаяны в стеклянные трубки вместе с пятиокисью фосфора и спрятаны в ящик лабораторного стола.

В рабочем журнале появилась запись: 27 ноября 1913 года. Далее: январь… март… июнь… 1914 года. На этом записи обрывались.

Началась первая мировая война. В то бурное время Бейкеру было не до трубок. Империалистические правительства требовали от химиков составы новых взрывчатых веществ и рецепты смертоносных газов. Вот почему Бейкер вернулся к своим трубкам лишь через девять лет после того, как они были запаяны.

Вопросы, вопросы…

Трубки были вскрыты в 1922 году. Вскрытие производилось в условиях, которые исключали присутствие влаги: сосуды старательно высушивались, кончики трубок отламывались под ртутью.

Результаты превзошли все, даже самые смелые ожидания.

Первым перегонялся бензол. «Обычный» бензол, как известно, имеет температуру кипения 80°. Этот же закипел только при 106°. Дальше уже не было времени поражаться, и Бейкер с сотрудниками едва успевали вносить в лабораторные журналы новые поразительные факты: диэтиловый эфир кипел при температуре 83° вместо причитающейся ему «обычной» 35°; бром начинал перегоняться при 118°, в то время как «обычный» бром начинает кипеть при 59°, ртуть кипела при 459° вместо 357°, сероуглерод — при 80° (обычная температура кипения этого соединения 46°). Первые признаки перегонки спирта появились при 138°, в то время как спирт, очищенный обычными методами, закипает при температуре 78,4°.

Точно так же вели себя и другие жидкости, подвергнутые длительной сушке. Всего же было исследовано одиннадцать веществ.

Когда Бейкер спустя несколько дней сообщил о новых фактах своим ученым коллегам, те встретили это по-разному: одни откровенно хохотали, настолько нелепыми казались им эти слова, другие глубокомысленно закатывали глаза, а когда Бейкер отходил, недоуменно пожимали плечами, третьи же, наиболее «дальновидные», убеждали ученого:

— Удивляюсь вам, дорогой коллега! Неужели вы не видите, что имели дело с самым обыкновенным явлением перенагревания, когда очень чистая жидкость может некоторое время существовать при температурах несколько выше температуры кипения, оставаясь в жидком состоянии?

— Перенагревание, господа, — приходилось вступать в спор Бейкеру, — здесь совершенно исключено. Во-первых, на дно колбы, из которой велась перегонка, бросались кусочки пористого фарфора, а это, как известно, исключает возможность образования перегрева. Во-вторых, как происходит кипение жидкости, если имеет место перегрев? Жидкость все время остается внешне спокойной, пока температура не подымается на несколько градусов выше температуры кипения, а затем внезапно и очень бурно вскипает, причем все содержимое колбы становится пенообразным. В моем же случае, уважаемые коллеги,

кипение начиналось совершенно спокойно, так же проходила и перегонка. Кроме того, не надо забывать, что перегрев бывает обычно не более чем на три-четыре, ну, самое большее, на десять градусов, а здесь — семьдесят — восемьдесят градусов! Нет, это не перегрев, господа!

«Господа» уже и сами видели, что здесь нет ничего общего с явлением перегрева. Это обычно клало конец научным спорам, и дальнейший разговор входил уже в сферу излишних бытовых переживаний.

Итак, налицо было новое выдающееся научное открытие, и все было бы хорошо, более того, блестяще, если бы… если бы Бейкер сам хоть в какой-либо степени догадывался, каким образом длительная осушка вещества может привести к таким поразительным и не укладывающимся в рамки обычных научных представлений последствиям.

Ко всему, через несколько дней выяснились еще новые факты. Оказывается, вещества, подвергнувшиеся длительной осушке, изменяли также и свою температуру плавления. Ромбическая сера плавилась при температуре 117,5° вместо 112,8°, йод — при температуре 116° вместо 114°. В сторону увеличения изменилась температура замерзания и жидкостей: бром замерзал на 2,8° выше своей «обычной» температуры замерзания, а бензол — на 0,6° выше, чем это ему «полагалось».

Как видим, было от чего прийти в смятение. С одной стороны, громадный фактический материал, накопленный не одним поколением тысяч и тысяч химиков. С другой стороны, совершенно очевидный факт, который наблюдался и воспроизводился в лаборатории неоднократно. Итак, какое все же из положений соответствует действительности? Отвечают ли каждому веществу определенные свойства? Впрочем, если в высушиваемом веществе имеется некоторая примесь влаги, значит, это не индивидуальное вещество. Но почему же тогда все исследователи всегда получали, скажем, для свойств бензола одни и те же значения, и только при многолетнем высушивании удалось установить изменение свойств? Вопросы, вопросы, вопросы…

Нет, тут надо все обдумать систематически. Надо определить, что в этой истории ясно? Ясного очень и очень немного.

Нет сомнений, что «виной» всему влага, потому что подобный эффект достигается только с помощью пятиокиси фосфора и подобных ему «любителей» воды. Доказательством этому может служить хотя бы то, что если высушенные жидкости оставить ненадолго на воздухе, хотя бы на пять минут, то их температура кипения начинает быстро понижаться и становится нормальной.

(Впрочем, нормальной ли? А может быть, именно более высокая температура нормальная?.) Это связано с быстрым поглощением воды из воздуха, потому что если сухие жидкости поместить в атмосферу обезвоженного воздуха, то их свойства сохраняются.

Кроме того, можно догадываться, почему для достижения этого эффекта, названного Бейкером «эффектом высушивании», надо было подвергать вещества такой невероятно длительной (пять — девять лет!) осушке. Один из важнейших законов химии — закон действующих масс, открытый знаменитым русским химиком Н. Н. Бекетовым, гласит: скорость химической реакции пропорциональна концентрации взаимодействующих веществ.

Какова могла быть первоначальная концентрация воды в бензоле вместе с пятиокисью фосфора? Трудно сказать. Но вряд ли больше одной тысячной процента.

После же того, как процесс высушивания начался, это количество вначале быстро, а потом все медленнее и медленнее стало уменьшаться: миллионная доля процента, десятимиллионная, стомиллионная… Соответственно этому все медленнее и медленнее идет реакция взаимодействия пятиокиси фосфора с водой, содержавшейся в бензоле. Стомиллионная доля процента… Если подставить эту величину в произведение, которым определяется скорость процесса высушивания, то понятно, что результат будет очень мал.

Вот почему на абсолютное высушивание бензола и других жидкостей требуются годы и годы.

Итак, некоторые стороны наблюдавшихся Бейкером явлений были объяснимы или почти объяснимы. Но все вопросы, перечисленные выше, так и остались вопросами. И что самое печальное: неизвестно, в какую· сторону двинуться, чтобы отыскать ответы на эти вопросы.

Вот тогда-то и прозвучало впервые слово «сенсация». Нет, сенсация — это вовсе не обязательно, чтобы газеты выходили с аршинными заголовками, а газетчики на перекрестках надрывались от крика. Сенсация может быть и в удивленных вопросах аудитории, слушающей научный доклад, и в многозначительном перешептывании коллег, и в повышенной нервозности тона статей, посвященных сенсационному открытию. Впрочем, последней, пожалуй, было больше, чем это подобало бы даже в таких исключительных обстоятельствах.

В типографиях, набирающих строгие научные журналы — а журналы, где велась полемика об открытии Бейкера, принадлежали именно к таким, — самой неходкой литерой являлся, очевидно, восклицательный знак: в научных работах не

принято отдавать дань эмоциям. Пусть, читатель возьмет наудачу какой-нибудь том журнала английского химического общества, где в свое время печатались основные статьи Бейкера, ну скажем, комплект за 1928 год. Могу биться об заклад, что во всей пятикилограммовой годовой подшивке вы не найдете ни одного восклицательного знака. Поэтому легко представить, как были удручены рабочие, набирая статьи, посвященные обсуждению «эффекта высушивания». Страницы некоторых из этих работ количеством восклицательных знаков походят на изображения строевого леса. Вот-то метались наборщики, одалживая друг у друга эту ставшую внезапно драгоценной литеру!

Один наиболее экспансивный автор заключил свою статью четырьмя — ни больше, ни меньше — восклицательными знаками, причем слово, которое венчало эту фразу, в переводе на русский язык звучит приблизительно как «бред», «чепуха».

Мне, например, не приходилось больше встречать в научных журналах статьи, где попадались бы такие категорические и резкие определения и эпитеты, как «сверхгениальный» и «поверхностный», «гений» и «верхогляд», «спекуляция» и «прозорливость» и т. д.

Понятно, почему результаты опытов Бейкера вызвали такое удивление и полемику среди ученых 20-х годов. Ведь и сейчас, почти через сорок лет после этого открытия, читатель, очевидно, недоумевает, в чем причина столь невероятного волшебного влияния ничтожных примесей воды.

Ясно также и то, почему это открытие стало сенсацией, то есть было забыто так скоро. Дело в том, что мало кто из химиков отважился на повторение этих экспериментов: у кого хватит терпения проводить опыт, который длится девять лет!

Но армия химиков на Земле велика. Поэтому нашлись энтузиасты, которые спокойно, без полемического задора принялись за проверку опытных данных английского ученого.

Спустя несколько лет…

Спустя несколько лет из громадного океана химической литературы стали выплывать отдельные работы, посвященные разработке «эффекта высушивания». Стали выясняться некоторые подробности, а ничто так не важно в науке, как подробности.

Так как все-таки было довольно скучно ждать несколько лет, пока проявится загадочное действие абсолютного высушивания, амстердамский химик Смитс решил по возможности сократить время, необходимое для достижения этого эффекта. Для этого надо было, чтобы в исходном для высушивания веществе было как можно меньше воды. Смитс установил, что основное количество воды, находящееся в высушиваемом веществе, возникает главным образом из микроскопических капилляров в стекле сосудов, где сохраняются эти жидкости. Обычное высушивание не может удалить воду из этих капилляров, и поэтому несколько работ Смитса посвящены описанию хитроумного приспособления, с помощью которого можно сплавлять капилляры в стекле сосудов, одновременно откачивая из них воздух, содержащий испаряющуюся воду.

Усилия экспериментаторов достигли цели: удалось значительно уменьшить первоначальное количество воды в высушиваемом веществе. Насколько? Вот этого уж сказать никто не мог. В то время химики «сидели» где-то около шестого десятичного знака, и эти ступеньки были гораздо ниже того уровня, который соответствовал количеству воды в высушиваемом веществе. Впрочем, важно было другое: удалось достичь «эффекта высушивания» за один год, а в некоторых случаях даже за девять месяцев.

Другой химик — Мейли — доказал, что время высушивания можно значительно сократить, если сосуды, в которых вещества запаяны в контакте с пятиокисью фосфора, хранить при высокой температуре. Это была хорошая мысль, потому что известно, что с повышением температур скорость химических реакций значительно ускоряется.

Таковы были два ручейка работ по сверхчистым веществам, которые мне удалось отыскать в море химической литературы того времени: Смите и Мейли. Эти ручейки пожурчали некоторое время и исчезли, оставив каждый по три-четыре статьи. Столь длительные эксперименты, видимо, надоели даже энтузиастам.

Наступила некоторая пауза, и в 1924 году, наконец, снова появилась статья γíο сверхчистым! Тот же Смите. Интересно, что там? Поистине «эффект высушивания» имеет какое-то свойство

вызывать у ученых лирическое настроение. Передо мной дневник. Да, да, дневник в химическом журнале. С числами, днями недели и даже часами. Дневник с выражением эмоций автора по поводу проводимых опытов, его горести и радости.

Статья посвящена решению следующего вопроса: повышается ли температура кипения высушиваемых жидкостей внезапно, скачком, или постепенно — по мере удаления из нее влаги?

Был взят тщательно очищенный бензол. Описание процедуры очистки даже на скупом и точном языке химиков занимает почти две страницы, и мы его опустим. В начале эксперимента бензол, как и все остальные «бензолы» на земном шаре, имел температуру кипения 80°. 2 июня 1923 года жидкость была запаяна в специальный прибор, в котором его можно было перегонять из одного сосуда в другой, без контакта с воздухом, и где он находился все время вместе с пятиокисью фосфора.

25 августа бензол уже имел температуру кипения 81,5°. 23 февраля 1924 года — почти через девять месяцев после начала высушивания — бензол кипел при температуре 87°. Все шло как нельзя лучше. Но в этот день экспериментатора постигло несчастье. На колбу случайно упала курительная трубка. И хотя это была не громадная шкиперская трубка, которыми в кабаках Амстердама, случалось, проламывали друг другу головы подгулявшие моряки, а скромная вересковая трубочка ученого, все равно колба с бензолом дала небольшую трещинку. Трещинка была еле заметной, и к тому же ее почти тотчас же запаяли, но и этих нескольких минут оказалось достаточно, чтобы в колбу проникло ничтожное количество воздуха, содержавшего влагу. Опыт был испорчен: термометр снова показывал 80°.

Однако опыт продолжался. Через месяц после злополучного дня бензол кипел при температуре на полтора градуса выше. Еще через месяц температура кипения поднялась на три градуса по сравнению с первоначальной величиной, и, наконец, через год весь бензол перегонялся в интервале 86,6–87,7°. После этого опыт прекратили, хотя, продолжая дальше высушивать бензол, можно было довести его температуру кипения до той величины, которой достиг Бейкер, — до 106°, а быть может, и больше.

Надо не забывать, что Бейкера и его немногочисленных последователей при проведении каждого эксперимента мучил один вопрос: в чем дело, почему ничтожная, настолько ничтожная, что ее даже трудно выразить каким-либо определенным числом, примесь воды может оказывать такое разительное действие на свойства веществ?

Решению этого вопроса в той или иной степени был подчинен каждый эксперимент. Но шли годы, а решение вопроса было не

ближе чем в 1913 году, когда впервые был открыт «эффект высушивания». Разве что только острота удивления притупилась немного.

Однако, когда исследователи поднялись еще на несколько ступенек, когда появилось еще несколько работ, забрезжил свет разгадки.

Еще несколько ступенек

Козьма Прутков в одном из своих афоризмов утверждает, что можно извлечь пользу даже из наблюдения расходящихся по воде кругов после падения камешка. Не знаю, какую именно пользу имел в виду этот вымышленный острослов. Однако могу подтвердить, что один из исследователей в аналогичной ситуации сумел сделать весьма интересные выводы. Он, правда, наблюдал, как выделяются пузырьки при кипении жидкости, но это немногим отличается от кругов, расходящихся по воде. Однако все дело в том, что жидкость эта — гексан (углеводород C_6H_{14}) — была не простая. Это был гексан, подвергавшийся многолетней осушке.

Сверхсухой и сверхчистый гексан кипел при температуре 82°; «обычный» же гексан имеет температуру кипения 69°. Но не различие в температурах кипения является удивительным — это вещь уже известная. Удивительным был сам процесс кипения и перегонки.

Кипение и перегонка обычных жидкостей протекает очень просто и понятно: сначала температура всего объема жидкости медленно повышается и затем при какой-то определенной температуре, называемой температурой кипения, жидкость начинает перегоняться, причем перегонка идет строго при температуре кипения до тех пор, пока не исчезнет последняя капля вещества.

Со сверхчистыми же веществами все обстояло иначе. Взять хотя бы тот же гексан. Первые признаки кипения появились при 79°. Но, несмотря на то что жидкость кипела, температура ее продолжала медленно подниматься до тех пор, пока не достигла 82°. При этой температуре и перегонялась большая часть гексана.

Такое кипение — в более или менее широком интервале температур — наблюдается тогда, когда нагревается смесь жидкостей. Значит… перегоняемый гексан тоже состоит из смеси жидкостей? Но ведь это же абсурд! Ведь совершенно очевидно, что в колбе для перегонки находится чрезвычайно чистый гексан, настолько чистый, какой еще никогда не приходилось получать химикам!

Однако все сверхчистые жидкости вели себя подобным образом. Они кипели не в одной точке, а в довольно широких пределах температур. Получалось так, что сверхчистый гексан состоит из нескольких гексанов. Снова тупик! Какой по счету?

Попутно выяснились еще любопытные факты.

Оказалось, что вещества, подвергнувшиеся тщательной

очистке и длительному высушиванию, изменяют не только температуру кипения и плавления, но и почти все свои физические свойства: показатель преломления, поверхностное натяжение, теплоту смешения и др.

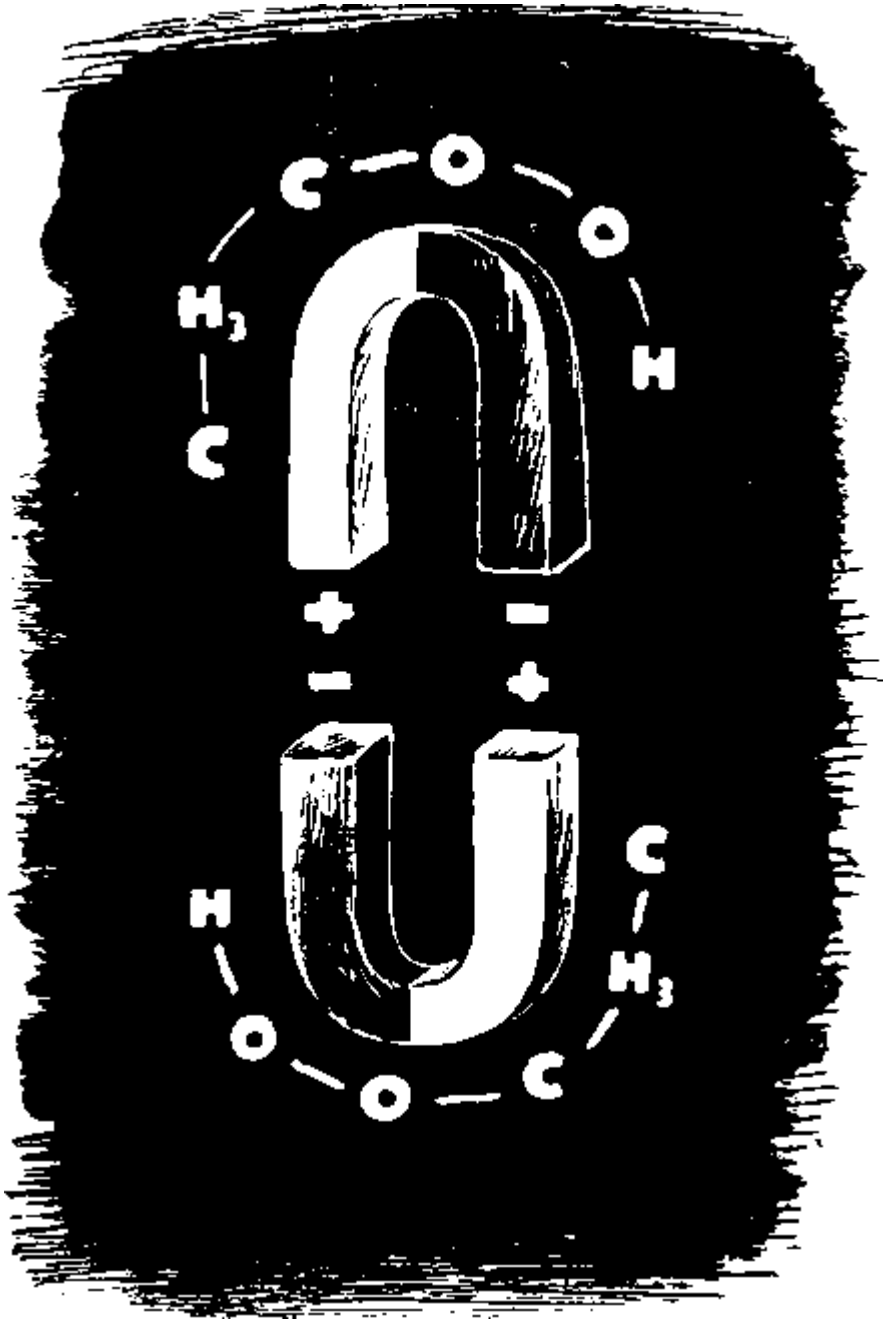
Стоит ли говорить, что новые факты прибавили немало вопросительных знаков к той отменной коллекции их, которая уже окружала эту проблему?!

Вздохнуть химикам с некоторым облегчением (но не полной грудью!) позволило очередное исследование в области «эффекта высушивания».

Была определена плотность пара веществ, подвергнувшихся длительной осушке. А зная плотность пара, каждый девятиклассник может в две минуты вычислить молекулярный вес вещества в парообразном состоянии. Эти измерения показали, что молекулярные веса сверхчистых жидкостей во всех случаях превышают рассчитанные. Так, молекулярный вес диэтилового эфира $(C_2H_5)_2O$ оказался равным 170. Если же сложить атомные веса всех атомов, входящих в молекулу диэтилового эфира, то получится величина 12x4+ 10 + 16 = 74. Выходит, что молекулы эфира собираются в какие-то агрегаты, состоящие из двух-трех молекул.

Похожие результаты получились и для других веществ: молекулярный вес метилового спирта превышал рассчитанный почти втрое, молекулярные веса брома, бензола и четыреххлористого углерода были завышены в полтора раза, гексана — вдвое, сероуглерода — в 2,7 раза и т. д.

Итак, все высушенные и очень чистые вещества находятся в парах в виде агрегатов молекул, или, как говорят, в ассоциированном[4] состоянии. В жидком состоянии, естественно, величина этих агрегатов должна быть еще больше.



Стало понятно, почему температура кипения этих жидкостей так отличается от температуры кипения жидкостей обыкновенных. Естественно, что энергия, необходимая для отрыва молекулы с малым молекулярным весом, должна быть меньше, чем для молекулы с большим молекулярным весом. А отсюда — и повышение температуры кипения.

Казалось бы, все стало на свои места; вот он, ключ ко всем

вопросительным знакам: молекулы очень чистых веществ собираются в агрегаты и это единственное, что отличает их от веществ просто чистых. Все остальное — следствие этого.

Но на самом деле только сейчас и начались непонятные вещи. Явление ассоциации весьма распространено. Химикам известно громадное количество веществ, которые в жидком и газообразном состоянии находятся в ассоциированном виде. Если мы определим молекулярный вес паров уксусной кислоты, например, то найдем, что он равен 120, в то время как теоретический молекулярный вес этого вещества — CH_3COOH — равен 60. Следовательно, в парах молекулы уксусной кислоты находятся попарно.

Все вещества, способные к ассоциации, обладают одним общим свойством: положительный заряд их молекулы сосредоточен в одной части, а отрицательный — в другой. Стоит только посмотреть на рисунок, и сразу станет понятно, почему молекулы уксусной кислоты стремятся объединиться друг с другом. Положительный полюс одной молекулы притягивает отрицательный полюс другой. В жидком состоянии, когда расстояния между молекулами значительно сокращаются по сравнению с парообразным состоянием, агрегаты молекул могут быть значительно больше: они объединяются по четверо, по шестеро, а зачастую и больше.

Насколько ясна причина ассоциации веществ, молекулы которых имеют разделенный электрический заряд, или, как говорят ученые, молекулы которых обладают дипольным моментом[5], настолько же должно быть очевидно, что вещества, не обладающие дипольным моментом, не могут ассоциироваться.

Итак, само по себе явление ассоциации не является чем-нибудь удивительным и очень легко объяснимо. Обращаю только внимание на то, что способностью ассоциироваться обладают лишь те молекулы, которые имеют разделенный электрический заряд — дипольный момент.

Но то, что было понятным в отношении к «обычным» веществам, в области сверхчистых жидкостей только запутало и без того неясные перспективы решения загадки. Дело в том, что большинство из изученных на «эффект высушивания» жидкостей (мы помним, что всего их было 11) не имеет дипольного момента. Но даже те два соединения, молекулы которых имеют дипольный момент, — спирт и эфир — в «обычно» чистом состоянии имеют обычную плотность паров, соответствующую нормальному молекулярному весу.

Так на место одного решенного вопроса пришли по крайней мере два. Первый: почему именно вода обладает такими

свойствами, что исчезающе малое количество ее способно оказывать громадное влияние на свойства веществ? Второй: что заставляет молекулы веществ, не обладающих дипольным моментом, ассоциироваться вопреки всем известным законам физики и химии?

Такова уж судьба ученых. Никогда не достигнуть им той точки, после которой можно было бы сказать: «Все, больше в этой области изучать нечего». Один решенный вопрос влечет за собой десятки других, которые еще требуют своих решений.

Почему вода?

Этот вопрос, в то время когда впервые исследовались свойства сверхчистых жидкостей, действовал на исследователей удручающе. Пугала полная неизвестность: с какой стороны следует «прицепиться» к воде, с тем чтобы нащупать разгадку.

Очевидно, что в чем-то, в каком-то свойстве вода резко отличается от других жидкостей. Но какое это свойство? Тут уже приходилось гадать. Иногда, за неимением других способов решить ту или иную научную проблему, гадание тоже может послужить методом исследования.

Итак, какое же свойство? Быть может, вязкость или плотность? Нет, сотни веществ имеют величины этих свойств такие же или почти такие же, как и вода. Поверхностное натяжение? Показатель преломления? Температура кипения? Температура плавления? Нет, и эти свойства у воды ничем не примечательны в сравнении со свойствами других жидкостей. Может быть, электропроводность? Нет. Дипольный момент? Нет. Теплота плавления? Тоже нет! Диэлектрическая постоянная? Стоп! Кажется, нашли!

Действительно, диэлектрическая постоянная[6] воды сильно отличается от диэлектрической постоянной других жидкостей. Для бензола, например, диэлектрическая постоянная равна 2,3. для гексана 1,9, для эфира 4,4, и так для многих других жидкостей. Для воды же эта величина равна 79. Ни одно вещество не может в этом отношении сравниться с водой. Ближе всего к воде подходит муравьиная кислота, но у нее диэлектрическая постоянная раза в полтора меньше, чем у «рекордсмена» — воды.

Но указать на диэлектрическую постоянную — это еще не значит объяснить наблюдаемые явления. И это объяснение не замедлило появиться.

Предположим, рассуждали исследователи, что молекулы всех веществ, даже тех, молекулы которых имеют дипольный момент, равный нулю, притягиваются друг к другу какими-то силами, природа которых нам еще неизвестна. Впрочем, каковы бы ни были эти силы, они, конечно, должны быть электрическими и, следовательно, должны подчиняться законам электростатического притяжения.

Если имеется какое-то чистое вещество, то что находится между какими-либо двумя молекулами этого вещества? Ничто, пустота. Следовательно, силы электрического притяжения в данном случае, в пустоте, будут наибольшими. Что же произойдет, если между двумя этими молекулами внедряется

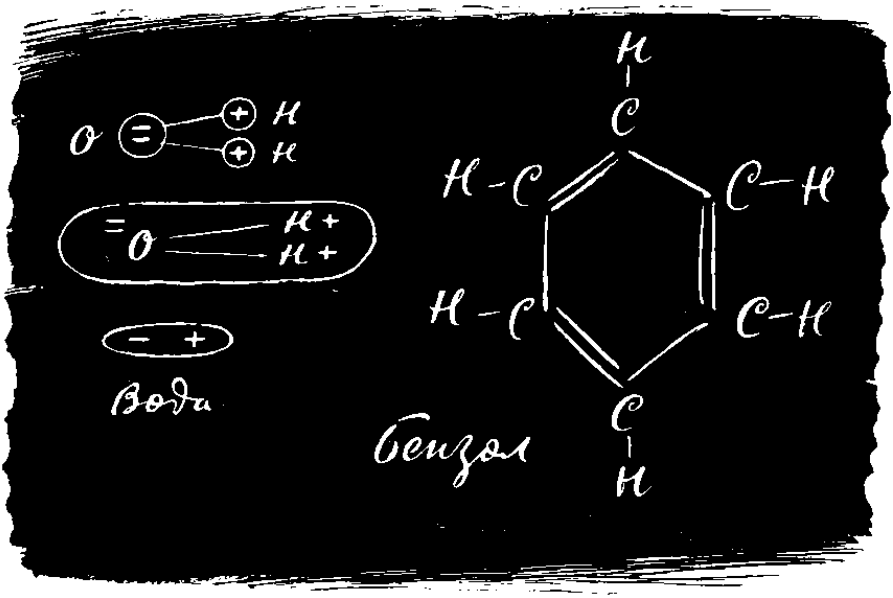
молекула какого-либо постороннего вещества? Конечно, сила взаимодействия между молекулами основного вещества значительно ослабеет. А если эта посторонняя молекула к тому же — молекула такого вещества, как вода, которая имеет наибольшую диэлектрическую постоянную, то есть в среде которой силы электростатического взаимодействия ослабляются больше всего, то легко представить, что никакого притяжения между молекулами основного вещества уже не будет.

Однако даже самые пространные рассуждения останутся рассуждениями, если не будут подкреплены экспериментами. И снова, в который раз, теоретические положения стали воплощаться в лабораторных установках.

Чистый бензол, высушенный обычным для лабораторной практики методом, поместили в специальный сосуд, в котором жидкость оказалась заключенной между двумя платиновыми электродами. Сосуд начали медленно нагревать до тех пор, пока не началось кипение бензола. Термометр показывал 80°. Иными словами, бензол вел себя так, как и полагается вести «нормальному» бензолу. Но вот к электродам подвели очень высокое напряжение. На первый взгляд, это было бессмысленной затеей: ведь бензол все равно не проводит ток. Но как только включили рубильник, кипение бензола сразу прекратилось. Пришлось нагреть жидкость еще на 8°, чтобы снова началось кипение. Бензол, помещенный между электродами, вел себя точно так, как сверхчистый бензол, подвергнутый многолетней сушке! Как только напряжение сняли, сразу температура кипения упала до нормальной. Снова подвели напряжение — снова 88°.

Почему же этот опыт подтверждает влияние воды на ассоциацию молекул бензола? В «обычном» бензоле находится сравнительно много воды: одну из 50–60 молекул его можно считать окруженной тончайшим слоем — в одну молекулу — воды. Эти молекулы воды очень похожи на магнитики.

Посмотрите на рисунок: маленькие и поэтому обладающие сильным электроположительным полем атомы водорода сосредоточены в одном конце молекулы, атом кислорода с двумя отрицательными зарядами — в другом. А рядом изображена молекула бензола. Стоит только посмотреть на нее, и сразу станет понятным, почему бензол не обладает дипольным моментом: шесть симметрично расположенных атомов углерода и столько же атомов водорода уравновешивают заряды друг друга.



Так вот, при подведении высокого напряжения «магнитики» воды отрываются от молекул бензола, водная оболочка разрушается и молекулы бензола приобретают способность к ассоциации. Вот почему сразу подскакивает температура кипения жидкости.

Итак, на вопрос: «Почему вода?» — мы ответили. Но тут же автор со вздохом должен сообщить, что, по правде говоря, этот вопрос был самым легким.

Ответить на него, как говорят, ничего не стоило. Хуже другое, что этот вопрос сразу вызывает еще несколько других. Однако роптать здесь не приходится. Таково свойство настоящей науки.

А вопросы эти следующие (у внимательного читателя они, очевидно, уже вертятся на языке). Вопрос первый: о какой это водной оболочке может идти речь, когда даже в «просто» чистом бензоле одна молекула воды приходится на 100–200 молекул основного вещества? Если же бензол подвергают специальной осушке, тем более многолетней, то это соотношение резко изменяется, причем не в пользу воды. Там уже одна молекула ее приходится приблизительно на один миллион молекул бензола.

Вопрос второй мы так и не выяснили: что же все-таки заставляет собираться в агрегаты бездипольные молекулы веществ, находящихся в сверхчистом состоянии?

Интересные вопросы? Безусловно, интересные. Тем более, что неизвестно, как на них отвечать. Сегодня, в 1963 году, физика и химия пока еще не могут дать ответы на эти вопросы. Вот оно — поле деятельности для тебя, сегодняшний школьник. Оказывается, и в химии можно найти немало таких уголков,

исследование которых не менее интересно, трудно и важно, чем достижение полюса недоступности или открытие нового архипелага.

Но мы еще далеко не полностью исчерпали круг вопросов, ради которых я завел речь о самых замечательных свойствах сверхчистых веществ. О тех событиях, которые, собственно говоря, и заставили ученый мир вспомнить о рассказанной только что истории, речь еще впереди. Итак…

Иголка в копне сена

Кто позавидует человеку, который темной безлунной ночью обязательно должен найти в копне сена затерявшуюся иголку? Тут любой остановится и сокрушенно покачает головой? Ошибаетесь! Я знаю немало таких химиков, которые сказали бы, что этот, конечно, вымышленный мной чудак занимается игрой в бирюльки. А в ответ на ваше недоуменное пожатие плечами немедленно доказали бы свое утверждение ясным языком арифметики.

Сколько может весить копна сена? Килограммов 400. А иголка? Ну, скажем, одну десятую грамма, или 10^{-4} килограмма. Если 400 килограммов принять за 100 %, то сколько будет составлять 0,1 грамма?

$$4 \cdot 10^2 — 100\%$$
$$10^{-4} — x$$
$$x = \frac{10^{-4} \cdot 100}{4 \cdot 10^2} \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-4} = 0{,}000\,025\%$$

Итак, иголка составляет 25 миллионных долей процента от веса копны. Химик сказал бы, что упомянутый нами гражданин оперирует в пределах пятого десятичного знака. А для химии определение таких количеств примесей, которые скрываются за пятым десятичным знаком, является давно пройденным этапом. Вот, скажем, шестой или седьмой десятичный — тут надо поработать. А пятый доступен при желании почти каждому и при сравнительно небольшой затрате труда.

Но если бы химия ограничилась только шестым или седьмым знаками!

«Как! — скажет читатель. — Неужели потребовались еще более точные определения? Неужели нужно было пойти еще дальше?»

Да! Гораздо дальше. И если бы только это, то дело не представлялось бы таким сложным.

Когда мы говорили о продвижении химии по крутым ступенькам десятичных знаков, мы имели в виду аналитическое определение примесей. К середине 50-х годов техника потребовала от химии не только определять количества примесей, но и отделять эти примеси. А это далеко не одно и то же. Одно дело знать, сколько примешано к данному основному веществу того или иного элемента, а совсем другое —

освободиться от этих примесей, выделить их, да так, чтобы еще не внести новых загрязнений. И эта вторая задача много сложнее первой.

Но, если техника, промышленность говорят «надо», химия должна, обязана сказать «есть».

И началась работа…

Но сначала о том, зачем понадобились технике вещества такой сверхъестественной чистоты.

Большинство полупроводниковых материалов проявляет свои свойства только в состоянии очень высокой чистоты. Вот, например, один из самых распространенных полупроводников — металл германий. Современная полупроводниковая техника в ряде случаев требует для германия чистоту 99,9999999999 %. Это значит, что на один атом принеси приходится тысяча миллиардов атомов германия. Два атома примесей на это количество — и полупроводник уже не «работает».

Итак, перед химиками всей своей громадой выросла вершину десятого десятичного знака. И вот на этот Эверест современной химии предстояло взойти не отдельным ученым. На «вершину» должен был подняться весь громадный коллектив химиков, работающих в. области промышленности полупроводниковых материалов. Перед ними стояла задача получения не каких-нибудь уникальных двух-трех граммов, вещества сверхвысокой чистоты. Надо было создать заводы, где эти вещества производились бы сотнями и тысячами килограммов.

Читатель помнит, какими трудностями сопровождалось завоевание «вершин» шестого и седьмого десятичных знаков. Теперь же предстояло взять десятый. А ведь подобно тому, как каждый метр на большой высоте дается альпинистам труднее, чем километр пути, пройденный по равнине, каждая последующая девятка в числе, выражающем чистоту препарата, достается химику со все возрастающим трудом.

Получение вещества со степенью чистоты 99,99 %, или, как говорят, вещества «четыре девятки», не представляет в настоящее время трудностей для экспериментатора даже в скромно оснащенной лаборатории. Но давно ли это так?

Вот три статьи, помещенные в различных химических журналах. В первой из них читаем: «Нам удалось получить чрезвычайно чистое вещество чистотой 99,99 %». Во второй статье написано: «Содержание основного вещества в продукте — 99,999 %. Значит, полученный продукт можно считать относительно чистым». В третьей статье говорится следующее: «Полученный образец был весьма грязным: содержание основного металла в нем составляет всего 99,9999 %».

В чем тут дело? Ведь высказывания в этих статьях полностью исключают друг друга. Однако противоречия здесь никакого нет. Просто первая работа была написана в начале века, вторая — в 20-х годах, а третья появилась в наши дни. Читателю теперь уже ясно, что вещество, казавшееся лет шестьдесят назад чистым, теперь не может сохранить прежнюю «репутацию».

Очень интересно хотя бы вкратце рассмотреть, каким же образом удается сейчас химикам получать вещества такой чистоты.

Скажу сразу, что получение сверхчистых веществ в больших количествах стало возможным только в результате колоссальных успехов аналитической химии. Ведь когда очищаешь вещество от примесей, надо прежде всего знать, от каких примесей следует его очищать, и затем уже сколько этих примесей находится в основном веществе. На эти вопросы дает ответы аналитическая химия. И чем выше степень очистки вещества, тем изощреннее должны быть приемы этой науки: ведь чем меньше примесей должно оставаться, тем точнее должны быть аналитические определения.

Тут уже неприменимы даже те чувствительнейшие методы химического анализа, о которых мы рассказывали на первых страницах этой книги. Для анализа полупроводниковых материалов химикам пришлось полностью обновить свое исследовательское оружие.

Из всего арсенала «вооружения», которое стоит на службе аналитической химии, мы выберем для иллюстрации всего два, но и этого будет достаточно, чтобы показать точность прицела аналитического оружия.

Вот один из самых молодых методов анализа — радиоактивационный. Очищенный металл подвергается облучению нейтронами. При этом его атомы — не все, понятно, а только некоторая небольшая часть — становятся радиоактивными. Приобретают искусственную радиоактивность и атомы примесей. Однако характеристики излучения разных искусственных радиоактивных элементов резко отличаются друг от друга. Определяя количество каждого вида излучения, можно легко определить количество и характер примесей в металле. Этот метод дает возможность находить примеси посторонних элементов в количестве до 10^{-13} грамма.

В случае полупроводников применим один специфический метод анализа, основанный на том, что электропроводность полупроводниковых материалов сильно зависит от примесей — в этом, собственно говоря, и заключается причина требования исключительно высокой чистоты полупроводников. Очищая

полупроводник, каждый раз испытывают его электропроводность. Чем чище вещество, тем меньше величина его проводимости. А электропроводность можно измерять с высокой степенью точности.

Рассказать о всех ухищрениях, к которым прибегают химики, чтобы получить сверхчистые вещества, невозможно, так же как невозможно, скажем, за один урок изучить географию нашей планеты. В основном, все эти методы очень походят на те, о которых мы вели речь при описании очистки воды. Но остановиться на очень уж интересных способах получения веществ «девять» или «десять девяток» просто необходимо.

Прежде всего, о лабораториях, в которых производятся такие работы. Народ в этих лабораториях особый. Они ужасно боятся сквозняков. Простуда им не страшна: это большей частью молодые, закаленные люди. Сквозняк может внести в помещение какие-нибудь твердые частички, которые попадут в очищаемое вещество. Мельчайшая пылинка, которую не заметит даже самая придирчивая домашняя хозяйка, приводит их в ужас. В этих лабораториях не принято быстро ходить, громко разговаривать: резкие движения могут способствовать выделению из одежды тех остатков пыли, которые не успел высосать стоящий на входе в лабораторию пылесос. Стены и потолки этих лабораторий совершенно гладкие и блестящие: ни одной соринке не зацепиться. Все манипуляции там производят с помощью особых приспособлений, напоминающих пинцеты с длинной ручкой, причем делают это опять-таки очень плавно, осторожно… Непросвещенного человека эта обстановка может, пожалуй, отпугнуть.

Но это впечатление сразу исчезает, как только мы подробнее познакомимся с тем, как люди в прозрачных пластмассовых халатах совершают восхождение на одну из высочайших вершин современной науки — вершину «девяти девяток». Вот один из самых новых приборов для получения сверхчистых веществ, установка, где осуществляется процесс, называемый зонной плавкой.

Медленно движется вдоль кварцевой трубки окружающая ее электрическая печь. В этой трубке лежит на особой подставке небольшой растянутый слиток германия — одного из наиболее распространенных полупроводников. Снаружи ничего примечательного нет. Мы видим, как расплавленная зона перемещается вдоль слитка германия. В том месте, где над металлом проходит печь, он расплавляется и превращается в вязкую жидкость. Печь проходит дальше, и металл медленно застывает.

А делается все это вот для чего. Оказывается, что примеси, содержащиеся в германии, при расплавлении металла предпочитают оставаться в жидкой зоне. Почему? Да потому, что атомы расплавленного металла, соединяясь друг с другом при застывании, выталкивают «чужаков» из кристаллической решетки, и, таким образом, примеси «вынуждены» оставаться в жидкой зоне. Жидкая зона, перемещаясь вдоль слитка металла, увлекает с собой значительную часть примесей. Когда, наконец, жидкая зона доходит до конца слитка и застывает, ее отрезают — и перед нами германий, значительно более чистый в сравнении с тем, который мы имели в начале работы.

Метод зонной плавки наиболее универсален при получении сверхчистых веществ. Однако и он пригоден не всегда. Вот, например, другой полупроводник, сосед германия по Периодической системе Менделеева, — кремний. Сложность получения сверхчистого кремния заключается в том, что он плавится гораздо выше, чем германий, — при 1400°. При такой высокой температуре атомы почти всех окружающих посторонних веществ стремятся вступить с ним, кремнием, в химическое взаимодействие, Эти атомы берутся из воздуха, окружающего расплавляемый слиток кремния, и из того тигля, в котором плавится этот слиток Ну, пусть воздух можно откачать, но чем заменить тигель где происходит плавление?

С другими элементами — металлами, которые подвергаются влиянию магнитного поля, — поступили при плавлении очень остроумно: плавили их вообще без всяких сосудов. Помещают кусок металла внутри круглого электромагнита, включают ток, и… кусок металла повисает в воздухе, а вернее, даже в пустоте, потому что воздух откачан Там же, в пустоте, его расплавляют и проводят другие необходимые манипуляции.

Таким образом, металл проходит все стадии, ведущие к его очистке, и ни разу при этом не касается стенок сосуда. Забавный способ, не правда ли? Но как поступить с кремнием, который не подвержен действию магнитного поля?

На помощь тут пришел сам кремний. Оказывается, этот элемент, будучи расплавленным, обладает очень высоким поверхностным натяжением Поэтому, если расплавлять слиток кремния, го расплавленная зона его сохранит форму твердого образца за счет того, что расплавленная масса сдерживается наружной пленкой жидкости. Получается, что кремний плавится в сосуде из собственного материала.

Каждый новый полупроводниковый материал выдвигает при его очистке новые проблемы, новые затруднения. Приведенные примеры достаточно ясно показали читателю, насколько сложна

проблема получения сверхчистых веществ. Ведь степень чистоты, которая сейчас уже доступна промышленности, какой-нибудь десяток лет назад не могла пригрезиться ни одному, даже обладающему самым пылким воображением ученому.

Итак, как будто бы рассказано все: и зачем получают сверхчистые вещества, и как удается химикам добиться такой степени чистоты, и многое другое. Не ясно лишь одно: к чему привел автор те два рассказа о незадачливом коммерсанте Юджине О'Винстерне и киевском журналисте Николае Карлышеве, которые помещены в начале очерка?

Здесь надо сказать, что рассказчик самое интересное всегда оставляет под конец. Так сделал и я.

Новая химия

Я надеюсь, что читатель не посетует на меня, если я приведу несколько строк из школьного учебника химии. Только очень прошу (я обращаюсь к нетерпеливым читателям), не пропускайте эти строчки — они неинтересны и сухи только на первый взгляд:

«Цинк — очень ковкий и пластичный металл, с трудом растворимый в кислотах и только при значительном нагревании».

«Металлы титан, марганец и хром служат для изготовления самых различных изделий, так как хорошо куются и раскатываются».

«Железо — исключительно мягкий металл, который поддается коррозии с большим трудом».

Нет ничего удивительного, что у каждого, кто внимательно прочитал эти строки, возникает протест?

«Позвольте, — скажете вы, — не знаю, как там титан или марганец, но что касается взаимодействия с кислотами цинка — так ведь это первый опыт, с которого все из нас начинали изучение химии в школе. И мы отлично помним, как при внесении кусочка цинка в кислоту — соляную или серную — начиналось бурное выделение водорода, причем без всякого нагревания».

С этим возражением нельзя не согласиться — да и как будешь спорить, когда цинк действительно бурно взаимодействует с кислотами. И тем не менее приведенные выше цитаты совершенно верны. Дело только в том, что они взяты из школьного учебника химии… будущего: Оправданием этой невинной фальсификации может служить то, что это будущее настанет в самое ближайшее время.

Попробуем разобраться, в чем тут дело. Возьмем для примера хотя бы тот же цинк. Да, цинк действительно растворяется в кислотах. Но так ведет себя только цинк «три девятки»: 99,9 %. Впрочем, цинк «четыре девятки» — 99,99 % — тоже неплохо растворим в кислотах. Но стоит только цинку изменить свой квартет девяток на квинтет — 99,999, как свойства его изменяются так же внезапно и удивительно, как будто бы над ним помахал своей палочкой волшебник.

Цинк «пять девяток» нерастворим в кислотах даже при сильном нагревании (правильно, значит, пишется в «будущем» учебнике!). Этот цинк может растягиваться в тонкие нити — в отличие от своего «грязного» собрата, кусочки которого ломаются при малейшей попытке приложить к ним какое-нибудь усилие.

Не приходится сомневаться, что в самые ближайшие годы в

каждом школьном химическом кабинете будет хотя бы один кусок цинка «пять девяток». И тогда, если эта книга попадет на глаза кому-нибудь из тогдашних девятиклассников или десятиклассников, они пожмут плечами и справедливо скажут: нашел чему удивляться. Действительно, тогда удивляться будет нечему. Но пусть они при этом учтут темпы развития нынешней науки.

Чудесным образом изменяют свои свойства и все другие элементы, которые удалось получить в очень чистом и сверхчистом виде. Оказалось, что многие металлы, которые раньше считались хрупкими, на самом деле являются пластичными. Так, пришлось пересмотреть «характеристики» марганцу, хрому и титану. Неожиданная пластичность последнего металла особенно отрадна, потому что благодаря этому стало возможным разработать способ получения из этого металла различных деталей.

Раньше же титан считался — и вполне справедливо — хрупким металлом.

Здесь надо обратить внимание на одно обстоятельство. Каким образом получается, что образцы элемента чистотой 99,9; 99,99 и 99,999 % почти не отличаются друг от друга, но стоит лишь уменьшить содержание примесей в четвертом десятичном знаке — в 1000 раз меньше того, чем было при переходе от 99,0 к 99,9, — и свойства металлов внезапно изменяются?

Возьмем все тот же цинк. По мере увеличения числа девяток растворимость цинка в кислотах не изменяется, она остается постоянной. Но йот число девяток с четырех скакнуло до пяти — и перед нами словно совершенно другой элемент, который ни по физическим, ни по химическим, ни по механическим свойствам — ну, словом, абсолютно ничем не напоминает прежний цинк.

Итак, существует несколько цинков, несколько титанов, несколько марганцев, подобно тому как существовало несколько бензолов, гексанов, эфиров — и все это в зависимости от степени очистки. Вот когда пришлось вспомнить об опытах Бейкера!

Вот так и возникает на наших глазах новая химия. Это не значит, конечно, что прежние сведения о свойствах химических элементов потеряют значение и всем придется переучиваться. Нет, просто говоря о свойствах какого-либо элемента или соединения, надо будет всегда указывать, в каком состоянии чистоты находится это вещество.

«Старую» химию создавали десятки поколений химиков. Новая химия будет создана значительно быстрее. Немалая роль в оформлении этой науки принадлежит следующему поколению

ученых — сегодняшним школьникам. Но, чтобы взять эту одну из очередных вершин современной науки, надо быть хорошо подготовленным. Альпинист, собирающийся покорить неизведанный горный пик, запасается самым разнообразным и добротным снаряжением. Для вас, будущие покорители вершины «Новая химия», таким снаряжением являются те сведения по химии, которые уже накопило человечество.

Мал золотник…

Рассказываю я о свойствах сверхчистых веществ уже довольно много, примеров привел порядком, даже несколько нравоучений успел прочесть, но вопрос, каким образом ничтожные примеси к основному веществу могут так разительно влиять на свойства этого вещества, остался вопросом.

Для ответа на него можно было бы привести немало соображений и догадок. Но самый правильный ответ пока будет все же такой: «Неизвестно». Оказывается, есть еще в современной химии такие вещи, о которых ничего не знают даже самые сведущие в этой области специалисты.

Впрочем, узкие тропинки, которые ведут пока еще к затерянному в лесу вопросов дворцу разгадки, могут осветить следующие соображения. По всей видимости, в химических и физических свойствах вещества громадную роль играет однородность или неоднородность химического состава.

Электроны при передаче тока через металлы бегут не как попало. Они передвигаются по цепочкам атомов, из которых состоит кристаллическая решетка металлов. Это представление еще не объясняет, каким образом один атом примеси на миллиарды атомов основного вещества способен изменить свойства металла, но позволяет догадываться. В самом деле, линия телефонной связи между Москвой и, скажем, Владивостоком имеет протяженность около десяти тысяч километров. Но достаточно где-то на протяжении этих десяти тысяч километров вырезать кусочек провода в один миллиметр, как связь тотчас же прекратится. Атомы посторонних элементов действуют подобно разрывам в линиях связи.

Представьте себе, что в метро в часы пик среди потока людей остановится какой-нибудь ротозей и станет рассматривать мозаичный потолок или читать книгу. Нормальное движение людей сразу нарушится. На беднягу посыплются замечания, и в конце концов его попросит пройти дежурный контролер. Но электроны не имеют голосов. Встретив на своем пути чужие атомы, которые не желают проводить электроны, они вынуждены сворачивать с пути. И тут в роли контролеров выступают химики. Очищая вещество, они освобождают его от атомов-чужаков и тем самым облегчают передвижение электронов. Вот почему сверхчистые металлы проводят электрический ток во много раз лучше, чем их «грязные» собратья.

Итак, худо ли, хорошо ли, но влияние ничтожных примесей на физические свойства металлов еще можно объяснить. Ну, а как

в отношении химических свойств?

Когда мы кладем обычный — чистый 99,9–99,99 % — цинк в кислоту, то сейчас же начинается выделение водорода. Попробуем разобраться, как происходит растворение цинка в кислотах.

Увеличим мысленно поверхность растворяющегося цинка в миллиарды раз, так чтобы стали видны отдельные атомы, составляющие решетку цинка. Среди атомов цинка вы заметите сравнительно часто попадающиеся атомы примесей. Около них кристаллическая решетка деформирована, вздыблена. И тут же вы обратите внимание на то, что молекулы кислоты отрывают атомы цинка именно в тех местах, где произошло нарушение однородности кристаллической решетки из-за соседства с атомами примесей. Таким образом, присутствие примесей создает особенно благоприятные условия для протекания реакции.

А если вещество очень чистое и состав его можно считать однородным? Что происходит тогда?

Тут уместно привести одно сравнение. Впрочем, пользуясь сравнениями, надо всегда помнить хорошую немецкую поговорку: «Всякое сравнение хромает».

Знает ли читатель притчу о Буридановом осле? Выдумал этого осла французский схоласт Иоанн Буридан. Он утверждал, что если голодного осла поставить между двумя совершенно одинаковыми связками сена и на равном расстоянии от них, то осел в конце концов умрет с голоду, не чная, какую из связок ему предпочесть.

Я бы не вспоминал об этом малоудачном примере средневекового схоласта, если бы явление, происходящее при погружении сверхчистого цинка в кислоту, несколько не напоминало Буриданова осла. Имея перед собой совершенно однородную (в химическом смысле) поверхность, молекулы кислоты «не знают», с какого места начать разрушать кристаллическую решетку цинка. Так же альпинист, который намерен взобраться на совершенно отвесную скалу, должен сначала найти в ней какую-нибудь трещину или выступ, за которые бы он мог зацепиться. И вот такой-то трещины на поверхности сверхчистых веществ нет. Именно поэтому сверхчистые вещества являются очень инертными в химическом отношении.

По-видимому, идеально чистые вещества вообще не могут вступать во взаимодействие друг с другом. Хорошо известен следующий пример.

Хлор и водород активно взаимодействуют друг с другом.

Если смешать эти два газа при свете, то тотчас же происходит сильный взрыв. В темноте реакция идет несколько медленнее. Но если оба газа тщательно высушить (многократным пропусканием через фосфорный ангидрид), то после смешения никакой реакции не произойдет даже на ярком солнечном свету!

Вот уравнение реакции взаимодействия водорода и хлора:

$$H_2 + C1_2 = 2HC1.$$

Скажите, пожалуйста: при чем здесь вода? Ее не видно ни справа, ни слева. Но тем не менее без воды реакция не идет. По всей видимости, и здесь играет значительную роль нарушение химической неоднородности.

Мир бесконечно малых

Не случайно так подробно было рассказано здесь о свойствах сверхчистых веществ. Эта проблема с каждым днем все настойчивее и настойчивее выходит на передний край науки и техники.

Более того, ничтожно малые примеси играют громадную роль не только в химии, но и во многих других науках.

И именно сейчас будет уместно вернуться к тем историям, которые я, на первый взгляд, вне всякой связи с последующим повествованием, рассказал в начале этого очерка. Это истории о монахе-целителе Ионе и киевском журналисте Николае Карлышеве.

Начать с того, что целебная вода была изобретением вовсе не монаха Ионы, который, кстати, на проверку оказался продувным мошенником. Под видом «святой воды» еще в древности монастыри продавали воду, настоенную на серебряных монетах или каких-нибудь других предметах, изготовленных из серебра.

При настаивании в воду переходит совершенно ничтожное количество серебра — одна миллиардная доля грамма на один литр воды. А это мало, очень мало! Миллиард литров такого раствора надо было бы взять, чтобы выделить один грамм серебра. Миллиард литров, миллион тонн воды!

Однако такого ничтожного количества серебра вполне достаточно, чтобы оказать губительное действие на многие бактерии. Это свойство серебра, кстати, несознательно использовалось людьми еще давно. Вот почему серебряная посуда так ценилась в древности: пища, приготовленная в ней, выгодно отличается от какой-либо другой. И вот почему монах Иона, изготовляя лекарство, хорошо известное сейчас фармацевтам под именем «серебряной воды», менее всего прибегал к поддержке «слова святого» и если уж уповал на что-нибудь, так это только на содержимое карманов своих легковерных пациентов.

Вот мы оперируем сейчас величинами: одна миллиардная, одна десятимиллиардная. Зная по собственному опыту, с каким трудом дается физическое, «вещественное» представление о таких ничтожных величинах, я еще раз позволю себе прибегнуть к сравнению. Итак, что такое миллиардная доля грамма?

Предположим, нам удалось один кусочек сахара-рафинада, который весит 10 граммов, распределить поровну между всеми жителями нашей планеты. Сколько тогда бы пришлось на долю каждого из нас? Некоторые из читателей, пожав плечами, заметят, что, возможно, пришлось бы пс три-четыре молекулы на

человека, а вернее всего, и того меньше. Впрочем, так, по всей видимости, скажут немногие. Потому что всем известно число людей на земном шаре: около трех миллиардов. Если поделить вес кусочка сахара на это число, то получается $4 \cdot 10^{-9}$ — четыре миллиардных доли грамма. Это в четыре раза больше того количества серебра, которое содержится в литре серебряной воды.

Но тем не менее химики нашли способ обнаруживать и такие ничтожные количества серебра. На одном из совещаний демонстрировали такой опыт. Взяли стакан воды и несколько минут перемешивали воду серебряной ложечкой. Затем в эту воду капнули несколько капель специального органического реактива. Вода сразу стала заметно красной. Этот же реактив, прибавленный к воде, которая не соприкасалась с серебряными предметами, никакой окраски не вызывал.

В области сверхмалых количеств веществ еще более удивительные примеры доставляет нам биология.

Сейчас доказано, что в росте клеток растений деятельное участие принимает вещество ауксин. Если с помощью шприца ввести ауксин в стебель растения, то в этом месте начинается настолько интенсивный рост клеток, что стебель даже искривляется.

За единицу ауксина принимают такое его количество, которое дает отклонение стебля овса на десять градусов. В граммах эта единица составляет $2 \cdot 10^{-11}$, или две стомиллиардных доли грамма. Это уже предельно малая величина…

Впрочем, нет необходимости обращаться к ауксину. Примеры регистрации ничтожных количеств веществ дает нам наше собственное обоняние.

Многие, очевидно, слышали запах газа, который теперь проведен в квартиры десятков городов нашей страны. Это газ метан. Но любой химик скажет вам, что метан не обладает никаким запахом. Тот запах, который мы ощущаем, если открыть горелку газовой плиты, принадлежит другому газу — меркаптану. Меркаптан специально примешивают к метану, с тем чтобы люди могли замечать утечку газа. Так вот, человек может обнаружить наличие меркаптана в воздухе, даже если одна часть его приходится на пять миллиардов частей воздуха. Иными словами, если бы кто-нибудь, скажем, в Киеве случайно выпустил в воздух сто кубических метров меркаптана, то через несколько часов в Москве на всех улицах ходили бы недоумевающие люди: откуда, мол, утекает газ и почему бездействуют аварийные газовые команды?

Если же перевести эти числа в граммы, то выйдет, что

человеческое обоняние может регистрировать $2 \cdot 10^{-15}$ грамма. Это две тысячных доли одной миллиардной доли грамма. Гораздо чувствительнее любого реактива!

Эти примеры ясно показывают, что мир ничтожно малых количеств веществ играет громадную роль в определении свойств больших масс вещества. Мы привели много случаев того, как несколько атомов примеси на миллиарды атомов основного вещества совершенно изменяют его свойства. Лилипут побеждает Гулливера!

Наш разговор о сверхчистых веществах не был бы завершен, если бы мы не остановились подробнее на практической важности этой проблемы.

Большие дела малых примесей

А сейчас настал момент, когда снова придется вспомнить читателю об истории «негоцианта» Юджина О'Винстерна.

Собственно говоря, после всего изложенного читателю уже понятно, почему колонна в Дели в течение тысячелетий стоит в жарком и влажном климате и совершенно не подверглась коррозии. Анализы профессора Голла оказались совершенно верными: колонна в Дели состоит из абсолютно чистого железа, А такое железо, как мы помним, не подвергается коррозии.

Загадкой здесь является другое.: каким образом смогли люди много сот лет назад получить такое большое количество сверхчистого железа, добыча грамма которого и сейчас в лабораториях считается делом велит кой трудности? Имеются все основания считать, что железо делийской колонны метеорного происхождения. По всей видимости, упал на Землю когда-то метеорит, который состоял из абсолютно чистого железа.

Впрочем, здесь нас должна интересовать совсем другая сторона этой проблемы.

Как известно, коррозия является страшным злом. Люди трудятся над добычей руды, выплавкой из нее металла, отливкой его в формы, изготовлением различных деталей. Но как только машина или станок готовы, к ним сразу начинает подбираться коварный и беспощадный враг — коррозия. Стоит только зазеваться — и железное изделие пропало!

Около 30 миллионов тонн железа ежегодно превращается в бурую ржавчину, и это несмотря на то, что с коррозией ведется непрерывная и небезуспешная борьба. Но все же потери пока слишком велики.

Оказывается, что одним из наиболее действенных методов борьбы с коррозией может являться изготовление предметов и деталей из сверхчистых металлов. Уже сейчас изготовляют сосуды из химически чистого железа, чтобы осуществлять там химические реакции, при которых выделяются чрезвычайно едкие вещества. Уже сейчас цинк используется для изготовления автомобильных деталей. Зная темпы развития народного хозяйства нашей страны, читатель может быть уверен, что не за горами то время, когда с явлением коррозии будут знакомиться только по книгам.

Еще одна очень важная область применения сверхчистых металлов: передача электроэнергии на большие расстояния. Как известно, самым важным обстоятельством из числа тех, которые заставляют пока отказываться от проектирования линий дальней

электропередачи, является значительная потеря электроэнергии при прохождении по проводам. Причина этой потери — электросопротивление металлов, из которых изготовлены провода.

Удельное сопротивление серебра всего на шесть процентов ниже, чем у меди. И все же правительства ряда стран пошли на то, чтобы линии некоторых, наиболее ответственных электропередач делать из этого драгоценного металла.

Сверхчистые металлы обладают во много раз меньшим электросопротивлением, чем металлы «обычной» степени чистоты. Нередки случаи, когда прибавление одной девятки к числу, выражающему чистоту металла, понижает его электросопротивление в десятки раз. Чистые металлы станут мощным источником увеличения ресурсов электроэнергии.

Бесполезно пытаться предугадать все возможные области применения сверхчистых веществ. Например, совсем недавно было установлено, что лампы накаливания, нити которых сделаны из сверхчистого вольфрама, служат в десятки раз дольше обычных. Такие известия приходят каждый месяц, с каждой новой книгой, с каждым новым номером научного журнала.

…Такова история восхождения на одну из высочайших вершин современной химии — вершину сверхчистых веществ. Правда, в этом «районе» химии есть пока очень много неизведанных областей с еще более высокими и недоступными пока вершинами. Но уже сейчас готовятся штурмовые группы. Уже сейчас создаются теории — научное снаряжение химика. Уже сейчас исследуются подступы к решению всех тех вопросов, которые в таком изобилии встречались в этой главе.

НА ПРОСТОРАХ ХИМИЧЕСКОЙ АНТАРКТИДЫ

Карта химии

Поговорим о романтике, о романтике неизвестного, романтике открытия.

Отправляется географическая экспедиция… Воображение сразу рисует себе белые пятна на карте, неведомые горные вершины, таинственные племена туземцев, хищных зверей, опасности и приключения, приключения, приключения…

Собираются в путь ботаники. Придирчиво рассматривают они свое мудреное снаряжение. Каждая травинка, каждый цветок должны быть тщательно рассмотрены под микроскопом, должны быть описаны со скрупулезной дотошностью опытного нотариуса. Ботаникам предстоит открыть новые растения, целебные травы, неизвестные дотоле деревья.

Готовятся к отъезду и непоседы геологи. У этих впереди — не увеселительная прогулка! Днями, а быть может, и месяцами должны будут они пробираться неведомыми дорогами, заросшими тропами, а то и вовсе по бездорожью к месторождениям полезных ископаемых. Трудно не позавидовать геологам. Ведь даже путевой дневник экспедиции, куда вносятся лишь самые скупые сведения о ходе работы в исследовательской партии, читается зачастую увлекательнее, чем приключенческий роман.

Снаряжаются и океанографы. Они имеют все основания быть самыми сосредоточенными и озабоченными. Ведь они исследуют морские глубины. И каждый из них втайне надеется вытащить со дна океанского невероятное чудище. А морские глубины таят в себе много неожиданного…

Есть отрасли науки, работникам которых требуется ежедневно преодолевать большие трудности, требуется умение концентрировать всю свою волю, все свои способности, умение бесстрашно преодолевать любые препятствия, будь это неприступная вершина или заросли тропических джунглей.

Не сомневаюсь, что если бы я причислил сюда химиков, то многих это попросту развеселило.

«Тоже нашел романтиков! — смеясь говорили бы они. — Сидят в лабораториях, перелизают из одной склянки в другую, а возвращаясь с работы, кутаются поплотнее в шарф, чтобы ненароком насморк не схватить».

А теперь давайте поговорим серьезно. Поговорим о романтике химических исследований.

Вот я, химик, не завидую географам. Пожалуй, на географической карте уже не осталось белых пятен. Даже горные

кряжи далекой от всех Антарктиды нанесли на карту неутомимые исследователи. Да и есть ли теперь недоступные места на нашей планете, если в любой район земного шара можно прилететь за 15–20 часов, ну самое большее за сутки? Имеются, конечно, районы, которые требуют более подробного изучения. Но белых пятен — нет!

Что и говорить, интересна работа ботаников! Но много ли новых открытий ждет их? Сотни тысяч растений известны науке. И в наши дни любое новое растение является событием чрезвычайной важности. Составлены подробнейшие толстые атласы, в которых зарисованы все известные растения и описаны их свойства. На этих картах нет уже белых пятен.

Почти то же самое я мог бы сказать и о геологах и даже об океановедах (да, да: ведь уже найдено самое глубокое место в Мировом океане!). Но к чему нам обижать эти профессии? Напротив, они заслуживают глубокого уважения. Сейчас же надо отметить, что химики «на равной ноге» могут разговаривать с географами, ботаниками, геологами и представителями других профессий, считающихся безусловно «романтическими». На карте химии белых пятен во много раз больше, чем на картах географических, ботанических, океанологических и иных картах «романтических» наук.

«Позвольте, какая же в химии может быть карта?» — спросит читатель. Оказывается, что есть такая карта — карта, без которой невозможно продвижение по извилистым и ухабистым дорогам современной химии. Эта карта — Периодическая система Д. И. Менделеева. А по количеству белых пятен она намного превосходит любую, даже самую подробную карту нашей планеты.

Для географов времена путешествий наобум, по принципу «авось что-нибудь встретится, может быть, на что-либо интересное натолкнемся» — прошли еще лет четыреста назад. Уже тогда люди научились более или менее правильно ориентироваться в своих передвижениях по планете, узнали расположение главнейших материков и морей. Иное положение было в химии. Там ученые «путешествовали» без карт еще какую-нибудь сотню лет назад.

… Только увидев не успевшие еще пожелтеть страницы журнала, где Дмитрием Ивановичем Менделеевым было опубликовано первое сообщение о Периодической системе элементов — одном из величайших открытий в истории человечества, понимаешь, что это открытие произошло, в сущности, не так давно. Действительно, девяносто лет — это совсем небольшой срок, который представляется совсем уж

малым, если вспомнить, что принесли эти годы химии.

Однако ощущение «давности» закона Менделеева присуще, наверное, каждому химику. Это понятно, так как почти все крупнейшие научные обобщения в химии возникли лишь после создания Периодического закона. Они просто не могли возникнуть раньше. Потому что именно благодаря этому закону химики, так же как и географы, получили свою карту.

Посудите сами: мог ли даже самый отчаянный капитан проплыть без карты из Мурманска, скажем, в Сан-Франциско? А ведь химики до открытия Менделеева были еще в более трудном положении, чем этот капитан. Они не только не имели карты — они не знали, куда вообще следует «плыть», в каком направлении вести исследования, чтобы достичь необходимых результатов.

Действительно, посмотрим, как развивались представления химиков об их химическом мире.

В древности люди применяли в своей практической деятельности соединения всего девятнадцати элементов. Но это применение было, так сказать, несознательное. Если на минуту предположить, что мы имели бы возможность задать какому-нибудь древнеримскому ученому вопрос, сколько, выражаясь по-нашему, химических элементов ему известно, то он, морща лоб и загибая пальцы, вряд ли смог бы перечислить более шести-семи наименований: золото, медь, серебро, железо, олово, свинец, сера. Вот, пожалуй, и все. Остальные элементы применялись не в явном виде, а в соединениях, и о них, естественно, наш воображаемый древнеримский собеседник ничего знать не мог. Как видим, химический мир для древних был так же ограничен, как и их познания о мире географическом.

К сожалению, расширение человеком химических владений шло гораздо медленнее, чем развитие географии. Двенадцать веков нашей эры прибавили к перечисленным выше пяти элементам только шесть наименований. Итого одиннадцать. Это в XII–XIII веках. А ведь совсем «незадолго» до этого, в VIII–IX веках, была популярной следующая алхимическая песня-заклинание:

> …Семь металлов создал свет
> По числу семи планет…

В позднее средневековье темпы открытия новых элементов не стали более быстрыми. К началу XIX века науке был известен 31 химический элемент. В XIX веке дело пошло несколько веселее. К середине прошлого столетия любой достаточно эрудированный ученый мог уже перечислить названия шестидесяти известных к тому времени химических элементов.

Итак, шестьдесят… А сколько их должно быть всего? Сто? Двести? Или, быть может, все открыты? Кто мог это сказать?

Ответил на эти вопросы Дмитрий Иванович Менделеев. Он первый нанес на «карту химии» — Периодическую систему элементов — «белые пятна», те элементы, которые еще не были к тому времени открыты. Мы знаем, как благодаря этой карте химики уверенно заполнили все пустые клетки таблицы Менделеева. Белых пятен как будто бы не осталось…

Где-то я видел географическую карту, на которой отмечалась степень изученности тех или иных областей нашей планеты. Хорошо изученные области, вроде Подмосковья, были окрашены в темно-зеленую краску. Но таких областей было немного. Районы, изученные меньше, были окрашены светло-зеленой краской. Этой краской было покрыто большинство суши земли. Плохо изученные области были окрашены в желтую краску. Желтых пятен было немного: Гималаи, Гренландия, бразильские тропики — вот, пожалуй, и все. И лишь одна Антарктида была обозначена белой краской. Только вдоль берегов этого материка вилась тоненькая полоска желтой краски. Впрочем, это было несколько лет назад. Теперь, после того как ученые многих стран по программе Международного геофизического года занялись изучением этого материка, Антарктида безусловно «заслужила» право по крайней мере на желтую краску.

А что, если попробовать разукрасить подобным образом таблицу Менделеева? Картина получится совсем иная. Густо-зеленой краски на ней не будет вовсе. Немного будет и светло-зеленых клеток: это элементы кислород, сера, хлор, железо, кремний, калий, натрий, плутоний — вот, пожалуй, и все. Зато желтых клеток будет столько, что, если отойти на несколько шагов и взглянуть на таблицу, она будет походить на канареечное оперение. Да, да, большинство элементов Периодической системы изучены довольно плохо. Более того, мы можем заметить немало клеток, которые, подобно Антарктиде на географической карте, контуры которой очерчены желтой краской, — это малоизвестные элементы.

Здесь уместно вспомнить об одном многотомном справочном издании. Это так называемый справочник Гмелина. В справочнике собраны сведения о всех химических элементах и их неорганических соединениях. Это, конечно, не справочник в обычном смысле. Его не положить в карман. Даже в портфель он не вместится. Удивляться этому не приходится: справочник состоит почти из сотни томов. Каждому элементу посвящен отдельный том. Глядя на корешки этих томов, можно точно представить себе, что нам известно о том или ином элементе. В

то время как одни тома имеют такую толщину, что их необходимо снимать с полок, краснея от натуги, другие больше походят на тонкую ученическую тетрадку.

Как видим, «Антарктид» на химической карте много больше, чем на карте Земли. Да, есть куда направить свои корабли капитанам химических исследований!

Дом — Периодическая система

Итак, химические элементы, известные нам, изучены далеко не в равной степени. И сразу же после этой фразы всплывает вопрос: почему химические элементы изучены по-разному? Почему некоторым элементам посвящены многотомные издания, а сведения о других могут уместиться на десяти — пятнадцати строках книги среднего формата? По-че-му?

Уверен, что многие читатели уже приготовили свое «потому». Послушаем их:

«Потому, — скажут они, — что химические элементы были открыты в разное время. Конечно же, железо, которое было известно людям с незапамятных времен, должно быть изучено лучше, чем гафний например, который открыт несколько десятилетий назад».

Ответ этот будет правильным лишь до некоторой степени. Если посмотреть на таблицу, в которой приведены годы открытий химических элементов, то несостоятельность этого объяснения станет очевидной. В самом деле, элемент иттрий, например, был известен еще в XVIII веке.

А между тем этот элемент изучен гораздо хуже, чем открытые в XIX веке магний или натрий. Тантал был открыт на одиннадцать лет раньше йода — в 1800 году. Степень же изученности этих двух элементов не может быть даже сравнима. В то время как о свойствах йода и его соединений написано множество книг, все сведения о тантале составили ь лучшем случае одну тоненькую брошюрку.

В перерыве одного из химических совещаний, происходивших несколько лет назад, мое внимание привлек оживленный разговор. Несколько немолодых и очень уважаемых ученых, перебивая друг друга, обсуждали что-то, ведя торопливый подсчет на оборотных сторонах программок совещания. На этот раз их увлекли не научные проблемы. Оказывается, речь шла о том, соединения скольких химических элементов видел за свою жизнь каждый из них. Первенство в этом необычном соревновании занял один профессор, который в разное время своей деятельности держал в руках соединения шестидесяти элементов. Символами этих элементов была густо исписана программа, а по лицам собеседников можно было заметить, что они считают это число более чем внушительным.

Шестьдесят элементов… Но ведь это немногим больше половины известных нам «кирпичиков» материального мира! Неужели человек, всю свою жизнь посвятивший химии, и тот не

видел соединений всех элементов?!

Мы подходим к истинной причине того, почему различные химические элементы изучены в различной степени.

Все дело, оказывается, в том, в каком количестве находятся элементы в земной коре (под корой в данном случае понимают литосферу — материки, гидросферу — океаны, моря и реки и атмосферу — воздушную оболочку нашей планеты).

Вообразим себе многоэтажный дом, населенный химическими элементами. Каждый элемент занимает в нем площадь сообразно содержанию его в земной оболочке.

Какая картина представится нам?

Почти половину этого дома будет занимать кислород. На его долю придется 47,2 % всей жилой площади. Именно такова доля кислорода в весе земной коры. Больше четверти помещений нашего воображаемого здания находится в ведении кремния. 27,6 % веса земной коры приходится на долю этого элемента. Итак, три четверти помещений занято двумя «капиталистами» — кремнием и кислородом. Остальная четверть приходится на 89 естественных химических элементов!

Но и эта четверть распределена «несправедливо». 8,8 % веса земной коры приходится на железо, 3,6 — на кальций. А всего имеется восемь элементов, содержание которых в земной коре выражается в процентах числами, имеющими перед запятой число больше нуля.

81 элемент живет всего на 0,4 % жилой площади этого дома, который как бы воплощает «несправедливость» природы. По сути, большинство элементов Периодической системы ютится в тесном чулане дома, основная площадь которого занята восемью элементами-гигантами.

Итак, причина различной изученности химических элементов ясна: неодинаковое нахождение их в земной коре. Те элементы, содержание которых больше, изучены лучше, те, которых меньше, исследованы хуже. Вот и все. Ответ ясен, и нечего здесь больше об этом говорить.

Что и говорить, вывод, конечно, верный. Верный, но… говорят, что вся наука состоит в основном из «но». Это, разумеется, не более чем шутка. Однако такое «но» имеется и в нашем случае.

Посмотрим на таблицу содержания элементов в земной коре более внимательно. Вот хотя бы элемент скандий — очень редкий элемент. Мало кто из химиков может похвалиться, что видел соединения скандия. Действительно, содержание его в земной коре очень мало: всего шесть десятитысячных долей процента. Соседним по списку в таблице является серебро. Разумеется, это

тоже довольно редкий металл, но, конечно, не такой, как скандий. Это очевидно каждому. Ведь все согласятся, что с серебром в быту приходится иметь дело довольно часто. Наверное, не найдется ни одного дома, где не было бы серебряной ложечки или хотя бы самой ничтожной безделушки из серебра. Наконец, уж наверное, у каждого человека имеются фотографии. А ведь поверхность любой фотобумаги покрыта соединениями серебра.

Оказывается, что содержание серебра в земной коре составляет одну стотысячную процента — в шестьдесят раз меньше, чем скандия.

Элемент галлий и сейчас принадлежит к числу самых редких элементов. Только в последние годы некоторые химические лаборатории (число которых пока еще не очень велико) получили в свое распоряжение соединения галлия. Но таблица содержания элементов неопровержимо свидетельствует, что этого элемента в земной коре находится в двести (200!) раз больше, чем обычной и всем хорошо известной ртути.

Полупроводниковый элемент германий сейчас общеизвестная «притча во языцех». О редкости этого элемента говорят и пишут повсеместно. А ведь германия в природе в двадцать раз больше, чем обычного и совсем недорогого йода.

По-видимому, примеров достаточно. И так ясно, что «редкостность» элемента и его содержание в земной коре — понятия далеко не тождественные. Большое значение имеет еще доступность элемента.

Элементы земной коры находятся в концентрированном состоянии — в рудах или в виде постоянной примеси к каким-либо минералам. Другие находятся, образно говоря, в «размазанном» состоянии. Олово и иттрий содержатся в земной коре приблизительно в одинаковом количестве. Но в то время как для олова известны месторождения минерала касситерита, иттрий не имеет своих руд, а встречается в виде крайне незначительных примесей к самым разнообразным минералам В этом и есть настоящая причина того, что иттрий изучен много хуже, чем олово.

Теперь ясно, что подавляющее большинство химических элементов встречается в земной оболочке в чрезвычайно малых количествах. Чтобы выделить соединения многих из этих элементов, приходится прибегать к манипуляциям, которые очень напоминают описанные в предыдущих главах. Итак, снова цифры после запятой, снова бесконечно малые величины, снова поиски большого в малом…

Срытый двор

Здесь небезынтересно будет рассказать о неприятной истории, которая произошла в одном из исследовательских институтов, истории/закончившейся, к счастью, благополучно.

В каждом научном учреждении есть несколько сейфов, где хранятся приборы из серебра и платины, соли золота и других драгоценных металлов. Были такие сейфы и в том институте, о котором идет речь. На один из сейфов сотрудники неизменно поглядывали с большим уважением. Еще бы! В нем хранилось четверть грамма радия — количество непомерно большое, учитывая редкостность этого металла.

Всем интересующимся охотно рассказывали, что радий находится там не в виде металла, а в виде азотнокислой соли, растворенной в некотором количестве воды. Раствор, разумеется, был помещен в толстый сосуд из свинца, который задерживает испускаемые радием лучи. Радий настолько был необходим для проведения различных научных исследований, что сотрудники института записывались у заведующего лабораторией в очередь, с нетерпением ожидая того дня, когда им можно будет приступить к опытам.

Несчастье произошло тогда, когда институт переезжал в новое, специально выстроенное для него здание. Все сотрудники были охвачены суетой переезда. Они торопливо упаковывали в плохо пригнанную тару научную аппаратуру, сбивая пальцы, выпрямляли искривленные гвозди, не совсем умело помогали бригаде грузчиков. Всем хотелось поскорее развернуть работу в новом здании.

Только этой суматохой можно объяснить (но не оправдать!) то, что заведующий лабораторией вышел из комнаты добывать очередную партию вечно дефицитных гвоздей и оставил сейф открытым. Ведь он шел «всего на одну минутку»! Одна минутка затянулась на десять. А этих десяти минут вполне хватило на то, чтобы произошло…

В комнату вошел один из грузчиков. Почти все ящики были уже вынесены. Лишь в углу стояло два больших тюка, ухватить которые ему одному было не под силу. Чтобы не терять времени зря, грузчик решил снести вниз металлический цилиндр, который он заметил в распахнутом сейфе. Цилиндр оказался довольно тяжелым. В нем что-то переливалось. Грузчик отвинтил крышку и увидел, что в цилиндр налита какая-то жидкость. «Должно быть, спирт», — с уважением подумал он. Но жидкость ничем не пахла, а вернее всего, по наметанному глазу грузчика, который в этих

делах разбирался тонко, — была водой.

Когда заведующий лабораторией впоследствии представлял себе, что произошло в последующие полминуты, он жмурился и тряс головой, как будто бы ему лили за шиворот ледяную воду. За эти полминуты грузчик, приняв молниеносное решение, быстро подошел к окну и вылил содержимое цилиндра во двор института. Затем он завинтил крышку и неторопливо понес цилиндр вниз, в машину.

Спустя полчаса грузчик клялся всеми известными ему клятвами, что он отродясь не слыхивал ни про какой радий и вообще он был уверен, что выливает воду.

Через два дня во дворе института появились экскаваторы. Вся земля была погружена на самосвалы и отправлена на завод по переработке радиевых руд. Руководители необычных «спасательных» работ дорожили каждой крупинкой глинистой почвы, которая раньше была двором института. Дело в том, что эта почва была более богата радиевой «рудой», чем любая, которую им когда-либо приходилось видеть.

Радий благополучно был извлечен из почвы и снова возвращен институту. Стоит ли говорить, что отвечать за хранение этого драгоценного металла было поручено уже не рассеянному заведующему лабораторией, а другому сотруднику?!

Быть может, эта история до некоторой степени поможет читателю представить себе, с какими трудностями приходится сталкиваться исследователям и работникам промышленности, работающим в области добычи редких элементов.

Радий — один из самых редких металлов. Настолько редкий, что почва громадного двора, пропитанная раствором всего четверти грамма соли радия, кажется в высшей степени обогащенной им. При получении этого элемента приходится иметь дело с гораздо более бедными рудами.

Но есть элементы, которые ненамного отстали от чемпиона редкостности — радия. Вот хотя бы металл рений. Мы еще будем вести подробный разговор об этом элементе, который с каждым годом все увереннее и увереннее входит в современную технику. Чтобы добыть один килограмм рения из самых богатых этим металлом руд, надо переработать такое количество их, для перевозки которого потребуется шестьсот железнодорожных вагонов!

Галлий в настоящее время добывают — в промышленном масштабе — из золы некоторых сортов каменного угля. Если галлия в этой золе содержится больше чем две тысячных процента— двадцать граммов в одной тонне! — то такая зола уже считается отличным исходным материалом для получения

галлия.

Почти то же самое можно сказать о всех остальных элементах, которым природа отвела лишь тесную и неуютную каморку в доме химических элементов — земной коре.

Быть может, прочтя об этом, некоторые скажут так:

«Ну что ж, на природу обижаться не приходится. Если редких элементов так мало, то, как говорится, бог с ними. Мы же можем обойтись теми элементами, которые природа представила в наше распоряжение с избытком».

Заключение это неправильно прежде всего потому, что редкие и поэтому малоизученные химические элементы таят в себе такие неожиданности, которым подивились бы даже богатые воображением авторы научно-фантастических произведений.

В этой главе мы расскажем о том, что дало науке и технике подробное исследование свойств некоторых из малоизученных прежде химических элементов. На примере этих элементов можно будет достаточно четко представить себе, что сулят науке и технике экспедиции в малоисследованные просторы «химической Антарктиды».

Вряд ли стоит в каждом отдельном случае рассказывать, каким образом удается выделять соединения того или иного редкого элемента. Все методы, к которым приходится прибегать, сильно смахивают на те, которые мы описывали в предыдущих главах. Гораздо важнее другое: свойства этих элементов и применение, которое они находят сейчас или получат в ближайшем будущем.

Легчайший

Если бы мне пришлось делать мультипликационный научно-популярный фильм о химических элементах, я бы обязательно сочинил смешную, но поучительную историю о том, как элементы устроили спортивные состязания. Мы бы увидели, как «сражается» с элементами чрезвычайно активный фтор. Немало веселых кадров доставили бы нам неповоротливые лентяи — инертные газы. Вихрем носился бы по полю маленький и юркий водород. Истекала бы тяжелыми слезами плакса ртуть. Увесисто ступая, ходил бы тяжеловес уран.

Почти наверняка по числу рекордов первое место в этом соревновании занял бы элемент литий. Литий обладает самым меньшим атомным весом среди всех известных нам металлов. Да и то сказать: ведь только два элемента Периодической системы — газы водород и гелий — имеют атомные веса меньше, чем у лития. Вторым рекордом лития является его плотность. Она в 15 раз меньше, чем у железа, и вдвое меньше, чем у дерева. Суда, сделанные из лития, обладали бы исключительной грузоподъемностью… если бы только этот металл не соединялся энергично с водой. Автомобиль, сделанный из лития, смогли бы свободно поднять два подростка, если бы только металлический литий не соединялся энергично с кислородом и азотом воздуха.

Третье «достижение» лития — громадное различие между температурами плавления и кипения — почти 1200°. Сравните эту цифру с аналогичной величиной для воды, где она равна всего 100°. В-четвертых, литий обладает феноменальной особенностью соединяться со многими элементами, в том числе даже с таким «гордецом», как азот.

В-пятых… Впрочем, перечисленного будет достаточно, чтобы можно было признать за литием право занимать во всех отношениях выдающееся место среди других элементов Периодической системы.

Но тем более скромной представляется та роль, которую до самого недавнего времени играл литий и его соединения в промышленности. Причина этого лежит в том, что свойства редкого металла лития не были изучены в достаточной степени. Впрочем, сейчас литий может считать себя вознагражденным с избытком.

Никто, разумеется, не пытался подсчитать, о каком химическом соединении сейчас больше всего пишут в научных журналах. Да и что полезного может дать этот утомительный и кропотливый подсчет? Но если бы все же такая работа была

проделана, то я не сомневаюсь, что первое место занял бы гидрид[7] лития.

Давно было известно, что литий может соединяться с водородом, образуя соединение, называемое гидридом лития. Это соединение интересно тем, что один килограмм его содержит без малого полторы тысячи литров водорода. Водород легко выделяется, если гидрид бросить в воду. Но кто мог еще несколько лет назад предполагать, что гидрид лития станет самым мощным из всех когда-либо известных людям взрывчатых веществ? И, уж наверное, никто не смог бы предсказать, что с помощью этого простого химического соединения ученые смогут воссоздать на Земле процессы, которые до этого времени протекали лишь на Солнце.

Собственно говоря, речь идет не о гидриде, а о дейтериде лития: соединения лития с тяжелым изотопом водорода — дейтерием. Однако с химической точки зрения разницы между этими веществами нет никакой. Дейтерид лития является основой заряда так называемых водородных бомб. При срабатывании уранового или плутониевого запала возникает высокая температура, под действием которой начинается ядерная реакция. Литий и дейтерий, соединяясь друг с другом, превращаются в элемент гелий. При этом высвобождается колоссальное количество энергии.

Подобная реакция — превращение водорода в гелий — является источником энергии Солнца. Ежесекундно на Солнце 570 миллионов тонн водорода превращаются в 566 миллионов тонн гелия. Запасы водорода на Солнце столь громадны, что наше светило, которое является водородной печкой, будет работать на нынешнем «режиме» еще много миллиардов лет.

Однако литий в настоящее время находит и немалое «земное» применение. Здесь надо назвать новую отрасль металлургии — металлургию лития.

Если добавить к магнию десять процентов лития, то полечившийся сплав будет прочнее и, главное, легче, чем магний. А ведь магний имеет удельный вес гораздо меньший, чем у большинства металлов. Добавка незначительных количеств лития к различным сплавам зачастую неузнаваемо изменяет их свойства.

Так, известный сплав «склерон», основу которого составляет алюминий, содержит всего 0,1 % лития. Но без этой одной десятой процента он сразу потеряет и свою прочность и свою твердость — те свойства, которыми он заслуженно славится.

Благодаря малому удельному весу и сопротивляемости высоким температурам сплавы лития с алюминием станут

основой конструкции самолетов, летающих со скоростями, значительно превышающими скорость звука.

В последнее время появились интересные исследования по использованию лития в качестве горючего. Если литий в распыленном состоянии ввести в струю воздуха или кислорода, то при сгорании его выделяется громадное количество тепла.

Подсчеты показывают, что при использовании лития в качестве топлива можно при сжигании всего лишь одного килограмма этого металла получить такое количество тепла, которое выделяется при сгорании четырех тысяч тонн каменного угля.

Литиевые соли стеариновой и пальмитиновой кислот, как выяснилось, являются отличными смазочными материалами. Эти смазки сохраняют свойства при пятидесятиградусном морозе, при нагревании до 150°.

Можно было бы перечислить еще много отраслей техники и промышленности, где литий нашел свое применение.

Однако еще больше имеется среди них тех, которые ждут внедрения этого замечательного металла. Вот почему литий с полным правом называют металлом будущего.

Впрочем, все те металлы, о которых мы поведем разговор, в большей или меньшей степени являются металлами будущего, как это мы увидим на примере «героя» следующего раздела.

Металл драгоценностей

Сейчас уже никто не может сказать, что побудило французского ученого Вокелена в бурное для Франции время конца XVIII столетия заняться химическими экспериментами. Вероятно, причиной всего были деньги. Почтенный месье Вокелен не думал добывать деньги нечестным путем. Он отнюдь не жаждал лавров известного подделывателя бриллиантов графа Сен-Жермена, о похождениях которого столько говорили при дворе последнего Людовика. Однако если уж заниматься химией, то почему бы не исследовать свойства и состав замечательного драгоценного камня изумруда — этого если не короля, то, по меньшей мере, герцога всех драгоценностей?

К сожалению, эксперименты над изумрудами скоро пришлось оставить: то ли опыты не удавались, то ли госпожа Вокелен отнеслась с большим осуждением к разорительным для семьи экспериментам своего мужа с изумрудами. Однако все же некоторые результаты были получены. Из изумруда Вокелен выделил сероватую массу, которую из-за ее сладковатого вкуса он назвал «сладкой землей», или глицином, от слова «гликос» — сладкий. «Землями» же тогда химики называли большинство окислов. Произошло это в 1798 году.

Ровно через двадцать лет из глицина был выделен серый блестящий металл, получивший название глициния. Несколько позже харьковский профессор Ф. И. Гизе предложил назвать этот элемент бериллием. Название привилось. Так в списке химических элементов появилось еще одно новое наименование.

Но даже сорок лет спустя свойства — бериллия были изучены еще настолько плохо, что Менделеев долго колебался, не зная, в какую клетку поместить этот элемент. И если бы не гениальная интуиция великого химика, бериллий долго бы слонялся по Периодической системе, пока не обрел квартиру № 4.

«Биография» бериллия в высшей степени необычайная.

Не менее оригинальна и его «анкета». Год рождения на ней обозначен 1798. Год поступления на работу — 1932. Именно в этом году в промышленности были применены некоторые сплавы бериллия. Но, подобно Илье Муромцу, который «тридцать три года сиднем сидел» и только потом развернулся во всю свою богатырскую силу, бериллий сразу же после поступления на службу человеку начал показывать чудеса.

Да, на долю бериллия в земной коре приходится лишь несколько десятитысячных долей процента. Но эти десятитысячные стоят того, чтобы за ними поохотиться.

Удельный вес бериллия несколько выше, чем у его соседа по Периодической системе — лития. Но все же он значительно меньше, чем у многих остальных металлов. Если же принимать во внимание только те металлы, которые в свободном состоянии устойчивы к действию воздуха, то бериллий занимает в этом списке место № 1. Хотя прочность бериллия меньше, чем стали, но разница в удельных весах между ними столь велика, что конструкция из бериллия будет во много раз прочнее, чем такого же веса сооружение из стали.

Известно, что самой большой заботой всех авиаконструкторов является снижение веса деталей самолета. Иногда они сидят месяцами и мучительно решают задачу, каким образом снизить вес машины хотя бы на несколько килограммов. Приходится накапливать эти килограммы буквально по граммам: в одном месте убирают винтик, в другом иначе планируют соединение, в третьем заменяют ручки из металла на пластмассовые.

Применение бериллия в самом ближайшем будущем освободит конструкторов от этих тягостных поисков. Уже достаточно подробно исследованы сплавы бериллия с магнием и алюминием, и можно уверенно сказать, что эти сплавы свершат в самолетостроении такой же переворот, какой произвело применение алюминия. Несложные расчеты показывают, что дальность полета самолета, сконструированного на основе бериллиевых сплавов, больше дальности полета машины, изготовленной на основе алюминия.

Уже это одно свойство бериллия ярко показывает, что редкими элементами следует заниматься с большей настойчивостью, так как сулят они фантастически много. А то, что их мало по сравнению с элементами-гигантами, не помеха. Ведь на то и существует химия.

И химики оправдали надежды, возложенные на них. В настоящее время разработано несколько вариантов получения недорогого бериллия даже из самого бедного сырья.

Впрочем, поиски новых методов получения бериллия и изыскание источников сырья ведутся все нарастающими темпами. Дело в том, что этот металл завоевывает все большее число отраслей техники и промышленности.

Вот новое слово, которого не было в химическом и техническом словаре десяток лет назад: бериллизация. А скоро это слово станет таким же обычным, как «прокатка», «закалка» или им подобные. При бериллизации стальную деталь, нагретую до высокой температуры, помещают в порошок бериллия. Бериллий при этом в очень незначительном количестве проникает в поверхностный слой металла, и изделие оказывается

окруженным как бы броней из бериллиевого сплава. Да, именно броней, я не оговорился. Потому что обработанная таким образом деталь резко увеличивает свою прочность и твердость.

Бериллизованные изделия работают во много раз дольше, чем обычные, стальные. Самое интересное, что бериллия на эту операцию идет ничтожно мало. При правильной работе можно бериллизовать одним килограммом его сотни, а иногда и тысячи самых различных деталей.

Буквально каждый месяц приносит новые сведения о замечательных свойствах бериллиевых сплавов. Оказывается, достаточно добавить к меди всего два процента бериллия — и образующийся сплав становится тверже нержавеющей стали. Добавка бериллия придает сплавам еще одно важное свойство — сопротивление к «усталости». Оказывается, металлические изделия тоже могут уставать. Самая лучшая стальная пружина, например, не может выдержать больше миллиона сжатий. Пружины из бериллиевой бронзы — сплава бериллия с медью — способны выдержать в 25 раз сжатий больше.

Известно, что медь обладает очень хорошей электропроводностью. Однако добавка к меди небольшого количества бериллия значительно улучшает способность меди проводить ток. Излишне говорить, как ценно это свойство бериллия для промышленности. Ведь чем лучше проводимость, тем меньше потери тока.

Незаменимым сейчас стал бериллий в рентгеноскопии для производства рентгеновских трубок. Бериллий для рентгеновских лучей все равно что самое прозрачное стекло для света. Почти все металлы задерживают рентгеновское излучение, бериллий же «прозрачен» для этих лучей.

Можно было бы еще очень много рассказывать о бериллии, металле, который сейчас переживает свое второе рождение, рождение для славных дел.

Пятнадцать близнецов

Если подробно описать историю открытия пятнадцати элементов, помещающихся в одной клетке Периодической системы Д. И. Менделеева, то получился бы рассказ не менее увлекательный и драматический, чем, скажем, «Одиссея», и, уж наверное, более объемистый. Потому что перипетии и приключения отважного и находчивого Одиссея — ничто в сравнении с тем, что пришлось пережить химикам, пока в Периодической системе между порядковыми номерами 57 и 71 воцарился относительный порядок.

Между этими номерами в Периодической системе находятся элементы, которые называются редкоземельными. Уже само название показывает, что эти элементы являются большой редкостью. Действительно, еще лет десять назад соединения редкоземельных металлов можно было увидеть разве только на демонстрационных опытах по неорганической химии. Да и то профессор, доставая из жилетного кармана запаянную пробирку с невзрачным порошком — соль какого-нибудь неодима или иттербия, — не отсылал ее по рядам, чтобы, упаси боже, не разбили, но зато пускался всякий раз в пространные воспоминания о том, как ему удалось заполучить этот образец.

Если попытаться даже очень кратко изложить историю открытия редкоземельных элементов, то получился бы научный трактат в сотню страниц. Десятки ученых в различных странах начиная с первых лет прошлого столетия бились над разгадкой проблемы редкоземельных элементов. Даже такой могучий ум, как Д. И. Менделеев, и тот в течение многих лет не знал, какие места в Периодической системе следует отвести этим металлам. Не одна гора бумаги была исписана, не одна теория была отвергнута, прежде чем стало очевидным, что пятнадцать химических элементов должны стоять в одной клетке.

Действительно, редкоземельные элементы походят друг на друга больше, чем иные близнецы. Эти близнецы неразлучны не только в Периодической системе, но и в природе. Никогда их нельзя встретить отдельно друг от друга. Но «воспитателей» близнецов-элементов — химиков — эта трогательная дружба почему-то не умиляла. Напротив, она доставила им немало горестных минут. Дело в том, что поразительное сходство химических свойств редкоземельных элементов чрезвычайно затрудняет процессы их разделения. До того как был найден способ экспериментального определения порядкового номера того или иного элемента, химики никогда не были уверены, не

является ли данный редкоземельный элемент в действительности смесью нескольких элементов.

В самом деле, если посмотреть на таблицу открытия редкоземельных элементов, то возникает картина точно такая, как при делении бактерий. Вначале было известно только два элемента: иттрий и церий. Потом выяснилось, что церий содержит еще один элемент, названный лантаном. Лантан недолго оставался одиночкой. Кропотливые исследования показали, что элемент, который раньше принимали за чистый лантан, на самом деле является смесью лантана и дидима. Но напрасно мы стали бы сейчас искать в Периодической системе элемент дидим. По прошествии нескольких лет выяснилось, что дидим, в свою очередь, состоит из двух элементов: собственно дидима и самария. Однако «собственно дидим» оказался вовсе не «собственным», так как дотошные химики доказали, что он является смесью двух элементов, названных празеодимом и неодимом. Самарий тоже не остался в долгу и «отпочковал» от себя элемент гадолиний и европий.

Точно такая же картина наблюдалась и с иттрием, который последовательно «породил» элементы эрбий, тербий, гольмий, тулий, диспрозий и лютеций.

В главе «Алхимия XX века» было рассказано о том, сколько неприятностей доставил исследователям последний (не по порядку, а по времени открытия) из редкоземельных элементов — прометий.

Сейчас нам отлично известна причина удивительного сходства элементов с порядковыми номерами 57–71. Так же как и в описанном в главе об искусственных элементах семействе актиноидов, у редкоземельных элементов внешняя электронная оболочка построена одинаково.

Благодаря трудностям разделения лантаноидов свойства отдельных металлов до самого последнего времени были изучены очень плохо. Химия этих элементов представляла собой, образно говоря, целину. Но стоило по этой целине провести первые борозды научных исследований, как показались дружные всходы.

Начнем с того, что само название «редкоземельные» с каждым годом становится все более неправильным. Оказалось, что этих элементов в земной коре содержится гораздо больше, чем предполагали прежде. Хотя относительное содержание лантаноидов очень невелико — всего шестнадцать тысячных процента, — но тем не менее это значительно выше содержания многих элементов Периодической системы. Во всяком случае, химикам, для которых в настоящее время работа с шестым и седьмым десятичными знаками является столь же обычным

делом, как поездка в трамвае, выделение и получение чистых соединений элементов-близнецов не представляется таким уж сложным. Однако, разумеется, без методов микрохимии здесь в большинстве случаев не обойтись. Химия редкоземельных элементов — еще один и притом очень яркий пример того, как умение отыскивать вещества, которые прячутся в далеких от запятой десятичных знаках, дало технике новые прекрасные материалы. Впрочем, и сейчас некоторые из лантаноидов являются очень дефицитными. Стоимость, например, лютеция превышает цену золота в двести раз, а элемент тулий расценивается в 350 раз дороже золота Но это не из-за редкостности этих элементов, а скорее, из-за трудностей разделения.

Умение довольствоваться предельно малым для изучения свойств труднодоступных элементов привело к тому, что за последнее десятилетие сведения о химии редкоземельных металлов возросли во много раз.

Если лет двадцать назад даже самая полная сводка всех сведений о химических свойствах лантаноидов представляла бы, очевидно, невзрачную книжицу толщиной менее сотни страниц, то теперь для такого же издания пришлось бы напечатать с десяток толстенных томов, каждый из которых был бы предельно напичкан цифрами, формулами, диаграммами…

Соответственно изменилась и область практического применения редко (а теперь уже «нередко») земельных элементов.

В течение чуть ли не семидесяти пяти лет единственным применением лантаноидов было изготовление сплава, из которого делали камни для зажигалок. Но никто, даже химики, прикуривая папиросу или сигару от неизменно капризных зажигалок, не предполагали, что каждый из входящих в этот искристый сплав металлов, взятый в отдельности, откроет новую страницу в металлургии и химической промышленности.

Рассмотрим наудачу выбранные некоторые из них. Вот хотя бы страница тулия. Впрочем, правильнее будет сказать, не «страница», а «книга».

Если еще лет десять назад этому элементу даже в самых объемистых руководствах отводилось всего несколько строк, набранных к тому же петитом, то теперь о тулии действительно можно написать специальную, и притом немалую, книгу.

Искусственный радиоактивный изотоп тулия с атомным весом 170 испускает гамма-лучи, которые сходны с рентгеновскими. Эта фраза, которая звучит так, как будто бы она заимствована из сугубо специальной книги, на самом деле таит в себе переворот в огромной области техники и медицины — в

области рентгеноскопии.

Почти все, наверное, хотя бы раз в жизни были в рентгеновском кабинете. Это, пожалуй, самый таинственный из всех кабинетов любой поликлиники. Врач скрыт от вас непроницаемым мраком. Только в глубине кабинета тускло светит красная лампочка. Неестественным зеленым светом мерцает экран. А когда вы замечаете на этом экране скелет просвечивающегося пациента, зашедшего перед вами, то вас охватывает вполне понятное благоговение перед техникой рентгеноскопии. Это благоговение безусловно усугубилось бы, если бы вам удалось подробнее ознакомиться с конструкцией рентгеновских аппаратов. Впрочем, вряд ли непосвященный разберется с первого раза в хитроумных сплетениях проводов и в устрашающих своими размерами лампах.

В настоящее время рентгеновские лучи находят очень широкое применение, причем не только в медицине. О ней и говорить не приходится! Без рентгеноскопического исследования нельзя установить правильный диагноз многих заболеваний. Не меньшее применение находят рентгеновские лучи в технике для просвечивания металлических изделий. Эти лучи безошибочно выделяют бракованные детали — такие, в которые закрались невидимые при наружном осмотре трещины или пустоты.

Однако применение рентгеновских лучей все же сильно ограничено громоздкостью аппаратуры. Врач, идущий на обследование больного, берет с собой набор самых различных медицинских приборов и инструментов: стетоскопы, шприцы, приборы для определения кровяного давления или деятельности сердца, но вот такой важный прибор, как рентгеновский аппарат, с собой не захватишь.

Впрочем, скоро все сказанное выше можно будет с легким сердцем перевести в прошедшее время. «Виновником» этого будет редкоземельный элемент тулий. Рентгеновские аппараты, изготовленные на основе тулия, будут до смешного простыми: ампулка с почти невесомым количеством металлического тулия или какой-либо его соли, небольшой защитный кожух для предохранения от влияния излучения тулия и небольшой экран для проецирования изображения. Не знаю, поместится ли такой рентгеновский (или уже правильнее будет сказать — тулиевый); аппарат в дамскую сумочку, но в мужской портфель он влезет безусловно. Так что в самом ближайшем будущем тулиевые аппараты станут такими же карманными приборами для врачей, как и стетоскопы.

Стоит ли говорить, что приборы, работающие на основе радиоактивного тулия, окажутся незаменимыми и для

работников, контролирующих качество изделий из металла!

Не менее блистательное будущее предстоит прометию, тому самому элементу, который все еще не найден в природе, а получается пока искусственным путем. Вот где поистине необъятный простор для писателей-фантастов! Впрочем, возможно, я и ошибаюсь. Потому что ничего фантастического из того, что будет рассказано о прометии, нет: есть сухие и точные протоколы экспериментов, есть уже сконструированные приборы, есть незаурядная фантазия ученых, но фантастики нет.

Радиоактивное излучение прометия (прометий испускает электроны — бета-лучи) оказалось возможным использовать в качестве источника энергии. Достаточно самого ничтожного количества прометия, чтобы сконструировать миниатюрную батарейку с весьма внушительной, сообразно с ее размерами, отдачей энергии. Например, прометиевая батарейка, имеющая размеры и толщину шляпки обычной канцелярской кнопки, может в течение пяти лет двигать механизм ручных часов. Уже сейчас выпускаются слуховые аппараты, где источником энергии является прометиевая батарейка. А ведь большим неудобством для тех, кто был вынужден пользоваться слуховыми аппаратами, является необходимость носить в кармане электрические батареи, которые к тому же необходимо часто менять.

Очевидно, подсчет того, что может дать прометиевая батарея размером хотя бы с куриное яйцо, является только арифметической задачей. Читатель может здесь дать полную волю своему воображению, и вряд ли в чем-нибудь он ошибется.

А если можно фантазировать читателю, то почему бы не заняться этим (в разумных пределах, конечно) и автору? Впрочем, фантазия ли это? Как-то мне пришлось выступать перед молодежной аудиторией с лекцией о некоторых достижениях современной химии. Среди прочих сведений я сообщил и о замечательных свойствах прометия. Передо мной с рассказом о чудесных успехах советской медицины выступал один известный советский медик, специалист в области хирургии сердца. После окончания вечера он пригласил меня к себе и совершенно неожиданно стал подробно расспрашивать о прометии, и особенно о прометиевых батареях. Причина этого пристального внимания к новому источнику энергии скоро стала очевидна. Уже много лет врачи в разных странах мечтают о создании искусственного сердца. Не тех громоздких аппаратов, с помощью которых сейчас производят операции на сердце, а таких сердец, которые больной мог бы всегда носить с собой. Впрочем, такой человек был бы здоровее иного человека с обычным сердцем. Ведь его сердце не знало бы ни усталости, ни болей.

Однако все предложения по «проектам» портативного искусственного сердца пока еще не выходят из стадий полуфантазии. Вся остановка, оказывается, за источником энергии. Наше сердце должно выполнять настолько интенсивную работу, что лаже килограммовой электрической батареи хватило бы владельцу искусственного насоса крови всего на час с небольшим. А если не годится электричество, то тем менее пригодными будут и двигатели внутреннего сгорания.

И вот тут-то прометий может оказаться в высшей степени полезным. Правда, сейчас прометия во всех лабораториях мира добыто столько, что его не хватило бы, пожалуй, и на один «сердечный двигатель». Однако истории науки известно немало примеров, когда металл, дефицитный вначале, в течение нескольких лет уменьшал свою стоимость со скоростью пассажирского экспресса. В 1889 году Д. И. Менделееву во время пребывания его в Лондоне в качестве драгоценного подарка преподнесли весы, одна чаша которых была изготовлена из золота, а другая из несравненно более драгоценного в то время металла… алюминия. Однако не прошло и пятидесяти лет, как алюминий стал таким же обыденным материалом, как и дерево.

Боюсь, что после всего рассказанного изложение «прозаического» применения других редкоземельных элементов покажется скучным. Однако прошу поверить, что от этого колоссальное значение, которое с каждым годом приобретают редкоземельные элементы в народном хозяйстве, не станет меньше.

Прибавление лантаноидов к чугуну буквально волшебным образом действует на этот обычно хрупкий сплав. Редкоземельные элементы сильно понижают хрупкость чугуна и в такой же степени увеличивают его прочность. Чугун, который, как известно, с трудом поддается обработке, будучи сплавлен с редкоземельными, может даже обтачиваться на токарных станках. Причем примешивать эти металлы надо в самых мизерных количествах: от трехсот граммов до двух килограммов на тонну чугуна. А самое важное то, что для этого редкоземельные металлы не надо разделять: их действие отлично проявляется, когда их прибавляют «скопом».

Последние годы показали, что редкоземельные элементы могут быть использованы для варки высококачественного стекла, которое находит применение и для линз телескопов, и для иллюминаторов глубоководных батисфер, и для хранения исключительно чистых веществ.

Интерес исследователей к элементам-близнецам настолько велик, что буквально каждый месяц приносит новые

фундаментальные открытия в этой области. Не так давно были описаны необычные свойства гадолиния. Оказалось, что он с успехом может быть использован для получения сверхнизких температур. Для этого сернокислую или хлористую соль гадолиния помещают в атмосферу инертного газа и подвергают действию магнитного поля. При этом соль гадолиния нагревается, и тепло передается газу. После этого газ откачивают и прекращают воздействие магнитного поля. При этом гадолиний заметно охлаждается в сравнении с первоначальной температурой.

Многократно повторяя такую операцию, исследователи достигли температуры, которая всего на две десятитысячных доли градуса отличается от абсолютного нуля.

Сто лет назад о существовании многих из лантаноидов знали, вернее, догадывались, но выделить в чистом виде соединения их не могли. Шестьдесят лет назад — на рубеже столетий — на Всемирной выставке в Париже в качестве экспоната, иллюстрирующего громадные достижения химии, демонстрировались чистые препараты нескольких редкоземельных. Десять лет назад разделение редкоземельных элементов почиталось делом великой трудности. Сейчас, в наши дни, в самой обычной лаборатории можно получать чистые препараты лантаноидов. Это сделает вам любой лаборант, пользуясь в качестве инструкции широко известными работами в этой области, вошедшими в вузовские учебники.

Так впервые за геологическую историю нашей планеты человек нарушил трогательное единство редкоземельных элементов и разбил дружную семью элементов-близнецов. Это, пожалуй, единственный случай, когда можно приветствовать людей, посягающих на единство «семьи».

В одном из номеров старинного юмористического журнала приблизительно тех лет, когда в таких журналах печатался Антон Павлович Чехов, был помещен рисунок. Десяток бородатых людей, в которых без труда можно было уловить портретное сходство с выдающимися русскими учеными того времени, заарканив веревкой улитку, на которой было написано слово «наука», тянули ее на железнодорожную платформу. Это, очевидно, должно было обозначать, что темпы развития науки ускорились. Не знаю, показался бы остроумным аналогичный рисунок теперь, но то, что паровоз следовало бы заменить космической ракетой, — в этом можно не сомневаться. Рассказанная только что история элементов-близнецов — лучшее тому подтверждение.

Миллиардная доля земной коры

Здесь, конечно, не удастся рассказать о всех областях «химической Антарктиды». Слишком много элементов до самого последнего времени были недоступны и исследователям, и промышленности. Но о некоторых «белых пятнах» нельзя не упомянуть. Более того, о них нельзя даже сказать кратко.

К таким областям химической карты относится 75-я клетка Периодической системы — элемент рений, самый «младший» по времени открытия. Из всех элементов, которые находятся в земной коре, этот элемент позже всех раскрыл свое инкогнито. Символ Re — рений — только в 1925 году встал в клетке № 75 на место вопросительного знака. Все остальные дополнения в Периодической системе произошли уже за счет искусственно полученных элементов.

Причина столь позднего вступления рения в число «прописанных» обитателей Периодической системы объясняется его исключительной редкостностью. На долю рения приходится миллиардная доля веса земной коры. Такие металлы, как золото или платина, содержатся в земной коре в количествах, впятеро превосходящих долю рения.

Вот почему ни один, пожалуй, другой химический элемент не водил так долго «за нос» химиков, охотившихся за новыми элементами, как этот тускло-серебристый металл, не отличающийся, на первый взгляд, ничем особенным, кроме разве большого удельного веса.

Количество экспедиций, занимавшихся и занимающихся сейчас поисками «снежного человека», — ничто в сравнении с числом исследователей, которые посвятили себя поискам этого элемента.

К. Г. Паустовский в одном из своих очерков («Погоня за растениями») писал: «Известно, что настойчивость ученых чудовищна и может вывести из себя даже самого спокойного человека». Так вот, здесь все было наоборот. Загадка 75-го элемента заставила отступить не одного исследователя, и не один из тех, кто все же продолжал поиски, рано или поздно начинал роптать на несговорчивого и пока еще неизвестного обитателя квартиры № 75.

В 1869 году 75-й, по-видимому, выделил Гияр, дав этому элементу название «уралий». Но потом он отказался от своих выводов. Этим самым он избежал печальной судьбы химика Розе, радостное сообщение которого об открытии им в 1846 году элемента пелопия было опровергнуто несколькими

исследователями сразу. Такая же судьба постигла и элемент ниппоний, описанный в 1906 году Огавой, и люций Баррьера, сообщение о котором появилось в 1896 году, и многие другие.

Но все-таки в одном случае ошибки, по-видимому, не было. 27 июня 1877 года появилось сообщение русского химика С. Керна о том, что в веществах, оставшихся после переработки платиновых руд, им открыт новый элемент, который он предложил назвать дэвием в честь знаменитого английского химика Г. Дэви. Определение атомного веса дэвия и его свойств показали, что он должен занять в Периодической системе место, уготованное Д. И. Менделеевым для элемента, названного им дви-марганцем. Лет двадцать спустя американский химик Мале повторил работу Керна, но из платиновых остатков не смог получить выделенный русским исследователем элемент. Сыграло ли тут роль то, что платиновая руда была иного происхождения, чем в опытах Керна, или то, что Мале был неопытным химиком, но факт остается фактом: открытие дэвия не подтвердилось. Ответа Керна не последовало; по-видимому, он к тому времени уже скончался, а так как критикам всегда верят немножко больше, то в клетке № 75 снова воцарился тот же вопросительный знак.

Только когда существование элемента 75-го — рения — было бесспорно установлено Ноддаком, Таке и Бергом, химики обратили внимание на то, что все реакции, которые Керн описал для дэвия, тождественны реакциям рения.

Так почти на пятьдесят лет несправедливая критика отодвинула срок замечательного открытия, каким всегда является обнаружение нового элемента.

Только пять из естественных химических элементов могут похвалиться, что в цифре, выражающей их содержание в земной коре, после запятой стоит большее число нулей, чем у рения: это элементы полоний, радон, радий, актиний и протактиний. Однако рений имеет над ними то несомненное преимущество, что в настоящее время он добывается в промышленном масштабе. Да, тот элемент, который два десятка лет нельзя было сыскать даже в самой богатой демонстрационной коллекции, сейчас производится на специальных заводах.

Дело в том, что свойства рения оказались настолько интересными и многообещающими для современной техники, что химики сочли своим долгом разработать методику получения больших количеств этого элемента.

Рений — один из самых тугоплавких металлов. Сейчас, когда с высокими температурами приходится сталкиваться во многих областях науки и техники и, прежде всего, в ракетной авиации,

это свойство рения является исключительно ценным. Только один металл плавится при более высокой температуре, чем рений. Это вольфрам. Но и 3200° — температура плавления рения — величина достаточно внушительная.

Вторым ценным свойством рения является его химическая инертность. Даже при полутора тысячах градусов он не соединяется с кислородом воздуха. При обычных же температурах он не изменяется совершенно. Блестящая пластинка из рения не тускнеет практически вечно. Легко представить, какое применение найдет этот металл для отделки автомобилей и самолетов.

Большинство кислот не оказывает на рений никакого действия. Он сохраняет «невозмутимость» даже при обливании его горячей плавиковой кислотой, которая славится своей агрессивностью. Поэтому самая небольшая добавка рения делает многие сплавы кислотоупорными. Химическая аппаратура из сплавов рения служит в десятки раз дольше, чем агрегаты, сконструированные из обычных сплавов.

Не надо быть особенным пророком, чтобы предсказать, что в самом недалеком будущем рений вытеснит вольфрам во многих областях техники. Дело прежде всего в том, что при высоких температурах рений обладает большей прочностью, чем вольфрам. Поэтому уже сейчас в наиболее ответственных машинах поверхности трущихся деталей, если при трении возникает высокая температура, покрывают рением. Ко всему следует добавить, что рений очень легко и хорошо образует электролитические покрытия, а это в высшей степени ценное свойство этого элемента.

Итак, одна область применения рения заключается в использовании его отличных механических качеств и химической инертности. Но насколько рений инертен в реакциях со многими веществами, настолько он активен в вызывании реакций посторонних веществ. Иными словами, рений оказался прекрасным катализатором многих важных химических реакций. Рений — катализатор. Такова вторая широкая область применения этого металла будущего.

Уже через несколько лет после открытия рения стало известно, что он катализирует реакцию взаимодействия углекислого газа с водородом. Продуктом реакции при этом является метан. Трудно переоценить значение этой реакции. Метан — прекрасное горючее, легко транспортируемое, высококалорийное, не коптящее и не дымящее. Но самое главное, что метан можег служить источником множества химических продуктов, которые получаются на его основе. Углекислый же газ

и водород — побочные продукты многих производств. При сгорании угля и нефти в воздух выделяются сотни тысяч тонн углекислоты в сутки. Водород тоже образуется как побочный и даже вредный продукт при электролитическом получении кислорода и многих металлов.

Рений позволяет легко и просто превратить эти отбросы производства в ценнейшее сырье для народного хозяйства нашей страны. Окислы рения, как выяснилось, отлично катализируют такой важный для химической технологии процесс, как окисление кислородом воздуха сернистого газа. Ведь на этой реакции основан процесс получения серной кислоты.

Итак, ясно — будущее за рением. Но основная задача внедрения этого металла в будни советской промышленности пока еще остается нерешенной. Необходимо найти методы быстрого и дешевого извлечения рения из содержащих его руд. Задача эта трудна, но выполнение ее столько сулит народному хозяйству нашей страны, что тот из химиков, кто посвятит себя ее решению, может быть горд сознанием важности выполняемого им дела.

Основа века атома

Когда-нибудь соберут в одном зале всех тех, кто пишет научно-популярные книги по химии, и предложат каждому из нас написать книгу, посвященную какому-либо из элементов. Один возьмется написать об йоде, другой посвятит свою книгу железу, третий — натрию. Это будут очень интересные книги, потому что о любом из элементов можно сказать много-много поучительного. Что же касается меня, то я бы, конечно, назвал уран.

Очень увлекательно было бы писать об этом элементе, потому что история урана по своей занимательности оставляет далеко позади описания похождений отважного д'Артаньяна и наверняка гораздо поучительнее.

Весьма заманчиво сравнить уран с гадким утенком, развившимся в прекрасного лебедя, но это будет малоемкое сравнение. Потому что андерсеновский гадкий утенок куда ближе великолепному лебедю, чем уран XIX века урану XX века. Можно было бы, правда, сказать, что уран за 150 лет после его открытия сделал головокружительную карьеру от элемента, свойства которого известны лишь узким специалистам, до элемента, которым интересуются все. Но и это сравнение, как будет видно из дальнейшего, мало освещает положение дел.

$3 \cdot 10^{-6}$. Три десятитысячных доли процента. Три грамма на тонну. Таково среднее содержание урана в земной коре. В два раза меньше, чем самария, в три раза меньше, чем гадолиния, в десять раз меньше, чем олова. Мало, очень мало.

Можно считать большой удачей, что химик Клапрот в 1789 году открыл этот элемент. «Рождение» оказалось вне всякого сомнения преждевременным. Начался XIX век, прошла большая его часть, а ученые все еще не знали, что делать им с ураном и на что можно его употребить. Соединения этого элемента можно было, правда, встретить в лабораториях очень уж дотошных фотографов. В старых руководствах сообщается, что уран применяли иногда в керамической промышленности и в производстве краски «урановая желтая», но писали об этом, по-видимому, скорее для того, что ничего другого о применении урана сказать было нельзя. А краски этой, может быть, и приготовили за все время десяток-другой тонн.

Даже тогда, когда было открыто явление радиоактивности урана, интерес к этому металлу носил чисто академический характер. Ну как можно было всерьез думать о практическом применении элемента, который содержится в земной коре в такой малой степени?!

В XX веке интерес к урану несколько повысился, правда, не из-за самого урана, а из-за его постоянного спутника — радия. Урановые руды начали добывать с целью выделения из них радия — элемента, которым в свое время особенно интересовались ученые. Однако ничто не предвещало, что скоро наступит то время, когда уран станет центральным персонажем экономики ряда стран. Произошло это в 40-х годах, когда стало ясным, что разновидность урана с атомным весом 235 и получаемый из урана плутоний являются основой производства ядерного оружия. Уран из обойденного химического элемента превратился в один из важнейших видов стратегического минерального сырья.

Обычно радиоактивные элементы встречаются в земной коре в «размазанном» состоянии. Но с ураном человечеству повезло. Этот элемент имеет свои руды, которые встречаются не так уж редко. Впрочем, богатыми эти руды никак не назовешь. Переработка их с целью выделения более или менее чистых соединений урана заключает в себе почти двадцать кропотливых операций. Но коль скоро речь идет об уране — не могут казаться чрезмерными никакие усилия.

Есть в Канаде Медвежье озеро. Когда-то на его берегах были открыты урановые месторождения. Вряд ли хоть одна из газет посвятила тогда этому событию хоть одну строчку. Но, как только выяснилось значение урана для производства атомного оружия, американские монополии, давя друг друга, ринулись в Канаду. Конкуренты строили друг другу козни. Компании лопались одна за другой. Тут же возникали новые, столь же дутые, как и их предшественники. Объединения по закупке канадской «пшеницы» организовывались десятками, но ни одно зернышко не покинуло землю Канады. Всех их волновало только одно: уран. Долго велась бы, очевидно, эта характерная для капиталистических нравов борьба, если бы государство, осознав важность атомной проблемы, не прибрало месторождения урана к рукам.

Но урановая горячка и не думала утихать. Раздув историю одного ирландца, который с помощью сконструированного им радиометра, открыл небольшое урановое месторождение, компании стали наживать бешеные деньги на продаже подобных приборов. Тысячи людей устремились в горы и отдаленные районы в надежде найти уран. Эта горячка не утихает и по сей день. Урановый «вирус» проник даже на страницы серьезных научных журналов, которые пропагандируют самые разнообразные типы портативных радиометров для людей, жаждущих наживы. Только об одном не пишут эти журналы: для чего предполагают американские монополии использовать уран.

Они не пишут, что этот металл добывается для того, чтобы в виде атомных бомб лечь в мрачные хранилища военных складов Пентагона. Они не пишут, что уран может превратиться в миллионы радиоактивных осколков, которые будут заражать воздух и воду. Они не пишут также и то, для какой цели готовятся сотни и сотни новых атомных бомб.

Вот почему каждое сообщение о новых достижениях советской науки в области мирного применения атомной энергии встречается капиталистической печатью с неприкрытой злостью. Атомные электростанции, атомный ледокол «Ленин» — это первенцы того замечательного века атомной энергии, в который мы сейчас входим. И основой этого века будут те четыре десятитысячных процента от веса земной коры, которые приходятся на долю урана.

На примере урана можно видеть, насколько оправданы усилия химиков подробнее изучить свойства малоисследованных элементов. Ведь каждый из тех элементов, которые сейчас изучены так же мало, как в недавнем прошлом уран, могут стать основой крупнейших открытий, способных разделить судьбу урана — элемента, которому суждено было повлиять на развитие человечества.

* * *

Литий, бериллий, редкоземельные, рений, уран… Вот, пожалуй, и все, что мы успели разобрать в этой главе. Об одних элементах мы не рассказали за недостатком места, о других — потому что о них можно сказать пока очень и очень мало.

Но приведенных примеров более чем достаточно, чтобы убедиться: нет элементов бесполезных. Все элементы Периодической системы, все без исключения, должны быть поставлены на службу человеку. А что до тех из них, которые в земной коре ютятся в ничтожных количествах, то, как видели мы на протяжении всех страниц прочитанной книги, это для химиков не помеха. С одинаковым успехом добывают они и элементы-гиганты, и элементы, которые природа упрятала далеко за запятую десятичных знаков.

Мы рассказали всего об одной проблеме современной химии — о проблеме сверхчистых и сверхмалых. Всего об одной… А их, проблем, сотни. И любая из них не менее интересна и важна, чем та, которой была посвящена эта книга.

Фиалков Юрий Яковлевич
Девятый знак

Ответственный редактор *М. А. Зарецкая*.
Художественный редактор *Л. Д. Бирюков*.
Технический редактор *Т. М. Страхова.*
Корректоры *С. А. Ведешина* и *А. Б. Стрельник.*

Сдано в набор 9/1 1963 г. Подписано к печати 22/V 1963 г. Формат 70x90$^{1}/_{16}$. Печ. л. 9. Усл. печ. л. 10,53. Уч. — изд. л. 10,11. Тираж 30 000 экз. А05530. ТП 1963 г. № 553.

Цена 40 коп.

Детгиз. Москва, М. Черкасский пер., 1. 2-я фабрика детской книги Детгиза Министерства просвещения РСФСР. Ленинград, 2-я Советская. 7. Заказ № 4.

notes

Примечания

1

Миллилитр — одна тысячная доля литра.

2

Протуберанцы — облака раскаленного газа на поверхности Солнца.

3

Термокраска — соединение, изменяющее свой цвет в зависимости от температуры.

4

Ассоциация в химии — образование групп из молекул одного рода.

5

Дипольный момент — произведение величины зарядов на расстояние между ними; очевидно, что дипольным моментом могут обладать лишь такие молекулы, у которых в одной части сосредоточен положительный заряд, а в другой — отрицательный.

6

Диэлектрической постоянной называют величину, которая показывает, во скс лыю раз ослабляется электрическое взаимодействие в данной среде по сравнению с пустотой.

7

Гидридами называются соединения элементов с водородом.